

通電加熱を利用したサラミソーセージの新製法に関する研究

著者	相澤 健人
学位授与機関	東京海洋大学
学位授与年度	2011
URL	http://id.nii.ac.jp/1342/00000922/

通電加熱を利用したサラミソーセージ の新製法に関する研究

平成 23 年度
(2012 年 3 月)

東京海洋大学大学院 海洋科学技術研究科 食機能保全科学専攻

食品熱操作工学研究室

相澤 健人

修士学位論文内容要旨
Abstract

専攻 Major	食機能保全科学専攻	氏名 Name	相澤 健人
論文題目 Title	通電加熱を利用したサラミソーセージの新製法に関する研究		

【本研究の背景・目的】

現在、代表的な食肉製品のなかでウインナーやロースハムなどは塩漬を除いて約1日で製造出来るのに対して、サラミソーセージは太物の場合、製造に約30日かかり、他の食肉製品に比べると、非常に長い製造時間を必要としている。そこで、サラミソーセージの製造に着目して、既存の工程を見直し、従来の製造法よりも製造日数を短縮出来る新しい手法の確立を目指した。サラミソーセージの製造工程は加熱殺菌後、低温での冷蔵乾燥を行うのが一般的であるが、乾燥ムラを抑えるという理由で、約30日もの長い時間をかけ、緩やかな乾燥を行っている。この長時間の乾燥工程を短縮することができれば、大きなコスト削減につながると考えられる。以上のことから本研究では、従来の冷蔵乾燥工程を真空乾燥と通電加熱を組み合わせた新しい乾燥法に代替することで製造工程を短縮することを目的とした。

【実験方法】

実験試料は、豚肉（肩ロース、もも）、各種調味料、香辛料を混合し、60φmm ケーシングに詰め、小型スモークハウス(花木工業㈱)で重量約20%減になるまで燻煙・乾燥させたものを用いた。新しい乾燥法の装置はアクリル製真空デシケーターと通電加熱装置（周波数50Hz）を用いて、真空状態を保ちながら通電加熱ができ、試料温度および重量を経時的に測定出来るように改良した。測定試料温度を元に通電加熱の温度制御を可能としている。また、試料中心温度と端部温度を経時的に測定した。重量はポータブル天びん(BJ1500S sartorius)を用いた。真空庫内の最大真空度は6~8 hPaとし、製造後、標準試料と新製法試料で品質の比較検討を行った。品質評価として、各試料の重量変化、含水率・水分活性値、色彩、収縮率測定、粗脂肪とL-グルタミン酸定量およびマイクロスコプを用いた表面観察を行った。

【結果・考察】

真空乾燥において、サラミソーセージのような試料で均一乾燥を目的にした場合、加熱様式は通電加熱が適することが分かった。その際、試料に付属させる電極が重要となった。平板型、棒型、剣山型の3つの電極を試した結果、剣山型の電極が均一乾燥の温度制御に最適という結果が得られた。また、サラミソーセージ製造における乾燥工程は「50℃以上、又は20℃以下」と定められているが、新しい手法の場合50℃以上では試料中の脂身が溶け出てしまい、断面に大きな穴が出来てしまった。20℃以下での乾燥を行った結果、多少の穴は生じてしまうが、50℃以上での乾燥より軽減することが出来た。また、品質比較を行った結果、含水率・水分活性値ともに標準品と同等となり、乾燥ムラを抑えることが出来た。色彩は、試料断面においてL*・b*が標準品よりも高くなり淡い色となった。これは真空乾燥により試料が多孔質状になり、肉中の色素たん白質が標準品よりも酸化したのではないかと考えられる。一方で、収縮、粗脂肪、L-グルタミン酸に関しては標準品と同等な値を示した。品質比較により多少の違いは見られたが、主に色彩の違いを除けば標準品とほぼ同等のサラミソーセージを約15日で製造することが出来た。

目次

第1章	序論	4
1.1	本研究の背景・目的	4
1.2	サラミソーセージ（ドライソーセージ）の製造の現状	5
1.3	サラミソーセージ標準製造工程	6
1.4	食肉製品の成分規格・製造基準	7
1.5	既往の研究	9
1.5.1	真空乾燥-既往の研究	9
1.5.2	通電加熱-既往の研究	10
1.6	製造技術の特徴・歴史	11
1.6.1	真空乾燥の特徴・歴史	11
1.6.2	通電加熱の特徴・歴史	14
1.7	本論文の構成	15
	参考文献	16
第2章	各製法におけるサラミソーセージの製造方法（標準製法・新製法）	18
2.1	サラミソーセージ製法フローチャート（標準製法・新製法）	18
2.2	各工程の説明	20
2.3	スモークハウス工程の温度履歴	22
2.4	新製法における使用装置について	24
2.5	新製法における特徴	26
	参考文献	26
第3章	製造工程における加熱・乾燥法の検討	27
3.1	開発経緯	27
3.1.1	加熱技術の選択	27
3.1.2	通電加熱における使用電極の選択	29
3.1.3	乾燥条件の選択	35
3.1.4	通電加熱の効果検証	37
3.1.5	急速乾燥後の試料安定操作	39
	参考文献	40
第4章	新製法での結果－温度・各品質データ測定－	41
4.1	新製法における操作	41
4.2	測定項目	41
4.3	新製法（真空通電乾燥）に使用した乾燥試料・各測定点	41
4.4	温度履歴・重量経時変化測定結果	42

4.4.1 新製法における結果①	42
4.4.2 新製法における結果②	44
4.4.3 標準製法における重量減少変化.....	45
4.5 含水率・水分活性値結果	46
4.5.1 測定結果	46
4.5.2 冷蔵乾燥工程の温度帯違いによる変化－新製法の乾燥温度帯(20℃)と同様にした場合－	49
4.6 新製法における短縮効果	53
4.6.1 各製法による製造日数の比較	53
4.7 色彩値測定	53
4.7.1 予備実験	53
4.7.2 色彩値－ヒストグラム分析－	56
4.8 収縮率測定	67
4.9 グルタミン酸定量	68
4.9.1L-グルタミン酸再度定量実験①.....	68
4.9.2L-グルタミン酸再度定量実験②.....	70
4.10 粗脂肪定量	73
4.11 表面観察	76
4.11.1 標準製法試料と新製法との写真比較.....	76
4.11.2 マイクロスコープによる表面観察	78
4.11.3 豚肉・脂身真空乾燥実験.....	84
4.12 官能評価.....	85
4.12.1 官能評価結果.....	85
4.12.2 硬さ，噛みごたえ比較	86
4.12.3 レオメーターを用いた硬度測定.....	87
参考文献.....	88
第5章 総括	90
謝辞.....	92

第1章 序論

1.1 本研究の背景・目的

現在、サラミソーセージ等の燻煙食肉製品の製造工程は、製造（特に乾燥工程【以下 2 章フローチャート：冷蔵乾燥工程】）に長時間必要としている。直径 60 φ mm サイズの太物サラミは乾燥に 30 日以上かかっているのが現状である。乾燥ムラを抑えるという理由で、長い時間（約 30 日）をかけ、緩やかな乾燥を行っている。食肉ドライ製品の乾燥には通常冷風による低温での通風乾燥（冷蔵乾燥工程）が行われているが、この場合、乾燥に長い時間を要するほか、乾燥の均一化の調製が困難であるなどの問題がある。経済的、エネルギー的な面から食肉ドライ製品の工程短縮化技術の開発は求められている。

そのため、本研究ではこの長時間要する冷蔵乾燥期間の短縮を図ることとし、真空乾燥技術と通電加熱技術を組み合わせた装置を用いて、サラミソーセージ（ドライソーセージ）を対象として真空通電乾燥技術の確立を目指した。そして、2 つの技術を組み合わせた新製法により製造した試料と従来の製造法で製造した標準試料との重量変化、含水率・水分活性値、色彩、収縮率測定、粗脂肪、L-グルタミン酸定量およびマイクロスコプを用いた表面観察を行うことにより品質を比較評価した。標準製法のものと同様なものを製造出来るか、違いがあるならば違いの要因は何なのか検討した。この技術が確立されれば、サラミソーセージの製造期間が短縮され、それに伴い、省エネルギー効果やコスト削減を期待できると考えられる。

※ここで言うサラミソーセージは、ドライソーセージのことを指す。

1.2 サラミソーセージ（ドライソーセージ）の製造の現状

近年の食肉加工品は、消費形態の変化からスライスパック製品の伸びが著しくなっている。食肉加工品の加熱では、外部からの熱伝導による加熱が一般に行われており、スライスパック製品の原料となるスライス原木等の大口径の製品は、加熱・乾燥に長い時間要する。また、食肉加工品の生産量は、年末の贈答用製品製造の繁忙期には平常月の2～3倍量にも及び、年間を通してみた生産量の変動が大きくなっている。生産工程では、加熱時間が律速となり処理能力が固定していることから、繁忙期の加熱・乾燥工程部門にかかる負担は非常に大きくなっている。これらのことから、加熱工程の効率化、改善が望まれている。

また、食肉加工品のなかで、特に大口径のドライ製品の製造において、乾燥工程に長時日が必要であるため、部門への負担だけでなく、設備費、運転費、およびエネルギー消費量の面でハム、ソーセージの製造よりも多大な経費を必要としている。

※ここで言うサラミソーセージは食肉製品における乾燥食肉製品に含まれているドライソーセージのことを呼ぶ。

代表的な食肉製品における一般的な製造日数を Table 1-1 に示す。ウインナーやロースハムなどは塩漬を除いて約1日で製造出来るのに対して、サラミソーセージはケーシングサイズが60φmmなどの太物の場合、製造に約30日必要であり、他の代表的な食肉製品に比べて大変長い時間を必要としていることが分かる⁽¹⁾。

そこで、食肉製品のなかでも特に製造日数の長いサラミソーセージに着目し、どの工程に長時間必要としているのか、その工程を短縮することは出来ないか、検討することとした。

Table 1-1 一般的な食肉製品の製造必要日数⁽¹⁾

食肉製品	製造日数
ウインナー	1 日 (スモークハウス約 1 時間半)
ロースハム	塩漬 (約 7 日) + 1 日 (スモークハウス約 3 時間)
ベーコン	塩漬 (約 7 日) + 1 日 (スモークハウス約 4 時間)
サラミソーセージ	約 30 日 (※60 φ mm の場合) (スモークハウス約 1 日)

1.3 サラミソーセージ標準製造工程

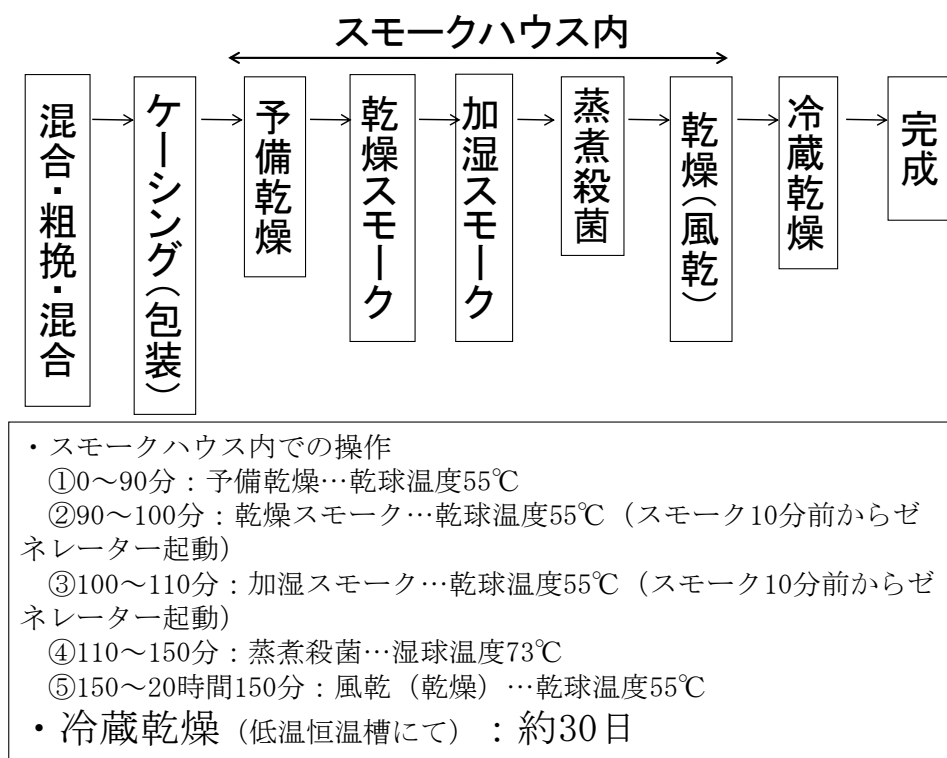


Fig. 1-1 サラミソーセージの標準製造工程概略

※第2章で詳しく説明するため、ここでは簡潔にまとめる。

はじめに、原料肉を調製するため、各原材料を混合し、粗挽きにし、さらに混合する。そして、混合した肉を今回は直径 60 mm のケーシング【ガーデック製】に充填し、スモークハウス内の工程へと移る。

スモークハウス内では、まず予備乾燥を行い、次に、燻煙工程として、乾燥スモーク、加湿スモークを行う。その後、殺菌工程の蒸煮、乾燥（風乾）を行って、スモークハウス内の工程が終了する。そして、スモークハウスから試料を取り出し、5℃設定の低温恒温槽に入れ、約 30 日冷蔵乾燥を行い、完成する。

このように、サラミソーセージ製造では、「冷蔵乾燥工程」に長時間を要していることが分かる。冷蔵乾燥では、乾燥ムラを抑えるため、ゆっくりと乾燥しなければならないことから、低温で 30 日という長い時間をかけて乾燥する工程となっている。この長時間の工程を短縮することで、大きなコスト削減を実現できると考え、本研究では、この「冷蔵乾燥工程」を新しい乾燥法で短縮出来ないか検討した。

1.4 食肉製品の成分規格・製造基準

【食肉製品の規格基準】

食品衛生法第 7 条第一項において、厚生大臣は公衆衛生の見地から、必要に応じて食品および添加物について規格および基準を定めることができるとされており、同条第 2 項においては、規格または基準が定められたときは、その規格または基準に合わない食品および添加物の製造、輸入、販売等を行ってはならないとしている。⁽²⁾

この条文をうけて食肉製品については、昭和 37 年に成分規格および製造基準が定められた。当時の製造基準では、微生物的衛生要件を確保するため、食肉製品は中心部の温度を 63℃で 30 分間もしくはこれと同等以上の効力を有する方法で加熱殺菌することとされていた【Table 1-2】。

その後、昭和 56 年にビーフジャーキーやサラミソーセージなどの乾燥食肉製品について、さらに昭和 57 年には、非加熱食肉製品のうち生ハム（ラックスハム）について、成分規格と製造基準を設定し、加熱殺菌を行わない食肉製品についても製造、輸入、流通を認めることとした。

一方、食品、添加物等の表示の基準については、食品衛生法第 11 条において同様に定められており、この条文をうけて、食品衛生法施行規則第 5 条において表示すべき内容が規定されている。国民の生活水準の向上や海外旅行者の増加等により、食生活に対する嗜好の多様化が進み、食肉製品に関していえば、従来のロースハム、ウインナーソーセージ、ビーフジャーキー、ラックスハムなどの製品に加えて、パルマハム、セミドライソーセージ、ローストビーフなどの食肉製品に対するニーズが生まれてきた。⁽²⁾

【食肉製品の分類】

食肉製品を加熱殺菌の方法および製品の水分活性により、次の 4 種類に分類されている【Table 1-2】。①非加熱食肉製品（加熱殺菌を行わないもの）②特定加熱食肉製品（加熱殺菌を行うものの製品の中心部を 63℃、30 分間またはこれと同等の加熱殺菌を行わないもの）③加熱食肉製品（製品の中心部を 63℃、30 分間またはこれと同等の加熱殺菌を行うもの）(1)包装後加熱殺菌するもの(2)加熱殺菌後包装するもの④乾燥食肉製品（水分活性が 0.87 未満のもの）⁽²⁾

【食肉製品の成分規格】

成分規格については、それぞれの種類ごとに定められ、亜硝酸根と水分活性においては Table 1-3 に示す。亜硝酸根の残存量については、すべての種類について 1 kg あたり 0.07 g 以下となっている。水分活性については、従来、非加熱食肉製品の水分活性が 0.94 以下と定められていたが、0.95 以上の製品も 4℃以下の保存条件で流通可能となった。サラミソーセージの属する乾燥食肉製品については 0.87 未満（0.86 以下）である。⁽²⁾

【食肉製品の製造基準】

食肉製品の食品衛生上の安全性を確保する上で、製造過程における微生物発育阻止のための各種製造条件が大きな要因を占めている。そのため、製造基準の策定にあたっては、食肉製品規格基準検討会において十分な情報収集を行い、食品衛生調査会においても十分な検討が行われた。

製造基準についての概要を Table 1-3 に示す。 ⁽²⁾

パルマハムや生ハムなどの非加熱食肉製品においては、肉塊で亜硝酸 Na を使用する場合、50℃以上又は 20℃以下の燻煙・乾燥、その他の場合は 20℃以下での燻煙・乾燥と定められている。

ベーコンやローストビーフなどの特定加熱食肉製品においては、加熱殺菌が定められている。製品の中心部が 54.4℃、121 分間～62.8℃、瞬時の間の温度と時間の組み合わせもしくはこれと同等以上の加熱殺菌を行わなければならない。さらに、加温の際は製品の中心部が 35℃から 52℃に達するまでの時間を 170 分以内とし、放冷は 55℃から 25℃に達するまでの時間を 200 分以内とすることが定められている。 ⁽²⁾

ロースハムやウインナーソーセージなどの加熱食肉製品においては、製品の中心部を 63℃、30 分が間またはこれと同等の加熱殺菌を行うことが定められている。

サラミソーセージの属する乾燥食肉製品は、燻煙または乾燥において、肉の温度を 20℃以下もしくは 50℃以上に保持しながら行うことが定められている。肉の温度を 50℃以上に保持しながら行う場合は、加温および冷却の際、肉の温度を 20℃から 50℃までの温度にさらされる時間をできるだけ短縮することとされている。 ⁽²⁾

Table 1-2 食肉製品の概要⁽²⁾

非加熱		加熱	
		63℃30分間(同等)未満	63℃30分間(同等)以上
水分活性 0.95	(非加熱食肉製品) ・パルマハム ・ラックスシンケン ・コツパ ・カントリーハム		(特定加熱食肉製品) ・ウェスタンタイプベーコン ・ローストビーフ
	・ラックスハム	・セミドライソーセージ	
水分活性 0.87	(乾燥食肉製品) ・ビーフジャーキー ・ドライドビーフ ・サラミソーセージ(含水率35%以下)		

Table 1-3 食肉加工品の規格基準一覧⁽²⁾

製品分類	成分規格	水分活性	製造基準（加熱，殺菌，燻煙又は乾燥）	
			加熱殺菌	燻煙・乾燥
非加熱食肉製品	0.07g/kg 以下	0.95 未満	—	肉塊で亜硝酸 Na を使用する 場合：50℃以上又は 20℃以下
特定加熱食肉製品	0.07g/kg 以下	0.95 未満	54.4℃，121 分 ～62.8℃，瞬時	—
加熱食肉製品	0.07g/kg 以下	—	63℃，30 分～	—
乾燥食肉製品	0.07g/kg 以下	0.87 未満	—	50℃以上又は 20℃以下

以上よりまとめると，サラミソーセージは食肉製品の中で乾燥食肉製品に属しており，製品規格には水分活性値 0.87 以下，含水率 35%以下という厳密な水分データ基準が食品衛生法により定められている．また，サラミソーセージ製造においては 50℃以上又は 20℃以下での燻煙・乾燥が食品衛生法により定められている⁽²⁾．

1.5 既往の研究

1.5.1 真空乾燥-既往の研究

食品を乾燥対象物とした真空乾燥（減圧乾燥）や凍結乾燥に関して昔から多く研究されている．復元性が良いとされる凍結乾燥と本研究で用いるような低温度帯での真空乾燥を比較した研究では，低温度帯での真空乾燥は凍結乾燥よりも品質の良い試料を調製出来ると言われている．KING V A-E⁽³⁾らによると，低温真空乾燥法と凍結乾燥法により牛肉と豚肉を乾燥した結果，牛肉，豚肉両者において，低温真空乾燥法の方が凍結乾燥法よりも乾燥時間が少ないという結果を得た．凍結乾燥にかかる乾燥期間の約 1/5 の期間となった．また，短縮できただけでなく，ミオグロビン濃度の減少を凍結乾燥法よりも抑え，TBA 価測定による脂質過酸化の比較においても低温真空乾燥法の方が凍結乾燥法よりも酸化を抑えることができおり，表面観察の比較からも低温真空乾燥法の方が滑らかであり，低温真空乾燥法の方がより良い品質状態に乾燥できるという結果を得ている．

井上⁽⁴⁾らによると，本研究と同様な目的でサラミソーセージの短縮化を検討し，従来法である冷風乾燥法に新たに凍結乾燥法を併用することで，長期間必要な冷風乾燥工程を短縮出来ないか実験した．全乾燥工程に要する時間の 50～60%冷風乾燥を行い，引続き第二段階で凍結乾燥を 20～25%実施する併用法により乾燥工程が従来工程に比し，総体として従来よりも 20%短縮できた．また，従来品と品質的な面の比較を行った結果，断面色調がやや淡いが，その他風味，物性面，理化学分析などに関し現行品と同等の製品が得られ，短縮化を確立させたとしている．

また，本研究と同様に短縮化を目的に真空乾燥と加熱技術を組み合わせた研究も現在されてい

る。WOJDYLO⁽⁶⁾らによると、乾燥イチゴ製造における乾燥方法を対象とし、真空乾燥とマイクロ波加熱を組み合わせた真空マイクロ波乾燥方法は、他の乾燥方法（真空乾燥、対流乾燥、凍結乾燥法）に比べて乾燥時間を短縮することができ、高品質の乾燥イチゴを製造できるとしている。従来の乾燥方法と真空乾燥方法では抗酸化活性の減少が大きかったが、真空マイクロ波乾燥方法では減少の程度は小さいという結果が得られた。しかし、真空マイクロ波乾燥方法には短所もある。寺西⁽⁶⁾らによると、マイクロ波減圧乾燥システムは、乾燥物の品質保持に優れたものがあるが、高含水率時にマイクロ波を照射するので、エネルギー効率的には不満が残る、この点が今後の課題としている。複合化（前処理あるいは後処理として）等による乾燥コストの低減、乾燥物の品質の保持等にまだ改善の余地を残しており、さらに高効率化の可能性があるとしている。

このように真空乾燥により短縮効果を期待できるが、真空乾燥に加熱技術を組み合わせることで、更なる短縮効果を実現できると考えられる。

1.5.2 通電加熱-既往の研究

サラミソーセージを対象として通電加熱を用いた製造技術は未だ確立されていないが、食品製造に通電加熱を利用して従来の製造法を短縮する研究は近年増加している。

高木⁽⁷⁾らは、鯉節の煮熟工程への通電加熱法の応用技術開発に関する研究により、マグロ缶詰製造時の蒸煮工程を通電加熱による直接加熱に置き換えることで、蒸煮ドレンが出ない新しい製造技術の開発を行った。そこから、同じ条件で通電加熱をしても、カツオ血合肉は普通肉と温度上昇速度に大きな差があり、形状を整えても普通肉と血合肉が混在するブロックでは均一加熱が難しいことが分かった。

辰巳⁽⁸⁾らは、生豆乳を通電加熱法にて段階的に加熱した豆乳を用いて、豆腐を調製し、種々の豆乳加熱条件が豆腐ゲルの粘弾特性に及ぼす影響を検証した。生豆乳中の β -コングリニシンとグリシニンの2つのタンパク質を段階的に加熱変性させるように、通電加熱を用いて二段階の加熱豆乳を調製した結果、一段階の加熱豆乳よりもヤング率と保水性を高めることが可能となった。これにより、二段階加熱豆乳から加工された豆腐は、かたくずれしにくく離水しにくいといえ、冷や奴などの生食用のほか、中華料理などの炒め物用の豆腐など、用途別豆腐として期待できるとしている。

秋山⁽⁹⁾らは、通電加熱を利用した冷凍マグロの高品位迅速解凍について研究した。形状および材料内部の電気特性、伝熱特性の異なる解凍対象を均一に昇温させるための手法として、複数電極による通電領域の細分化を検討した。その結果、冷凍マグロブロックを用いたジュール解凍試験では、室温放置解凍に比較して、解凍所要時間は1/6に短縮が可能となり、解凍品質はドリップがなく、冷蔵庫解凍とほぼ同等であり、室温解凍よりも優れた結果が得られた。また、分割電極による個別通電制御と、解凍終期を被解凍食品のインピーダンス変化から読み取るシステムを組み合わせることで、迅速かつ高品位な解凍ができるようになったとしている。

熊林⁽¹⁰⁾らは、焙焼式パンと同程度の硬さをもつ通電式パンの製造を目的として、発酵時間以外の通電方法と品質の関係を中心に試験を行い、通電式パンの硬さを改善する電圧の制御方法及び通電方法（周波数）がパンの品質や食感に与える影響を検証した。それより、通電式による焼成

時の電流の変化は、生地膨張による電極板との接触面積の変化と水分蒸発による含水率の変化とが影響しているとされ、50～70℃の帯域と70～100℃の帯域との電流の変化は、それぞれ他の要因による影響であり、50～70℃帯域はでんぷんの α 化、70～100℃帯域はたんぱく質の変性が関係しているのではとしている。また、生地温度が100℃に到達後、電圧調整する方法により含水率の低下を防ぐことができ、通電式パンの老化後の硬さを焙焼式に近い値に維持できたとしている。そして、通電式のパンは印加電圧の周波数によって硬さに差が認められたことから、極性が交互に変化する度合い（周波数）が生地の焼成に影響を与えるという結果を得ている。

また、熊林⁽¹¹⁾らは、通電加熱技術を固液混合食品の加熱に利用した場合の昇温特性について検討を行った。固液混合系食品の固形物として主にジャガイモを、液状部分は食塩水を使用した。実験より、根菜（生）の導電率は、ゆでたことによって0.1 mS/cmのオーダーから約30倍大きな値となり、根菜の種類で大きな違いがないことが分かったとしている。また、固体試料を複数個配置して通電加熱を行った場合、試料の配置によって個々の試料は複雑な昇温特性を示したが、試料と同程度の導電率をもつ食塩水と組み合わせることで個々の試料の100℃に到達するまでの加熱に要する時間に大きな差は生じなかった。また、本研究のように通電加熱と他の技術を併用した加熱の実験として、高圧高温加熱と通電加熱を併用した検証を行っており、併用することにより、高圧高温加熱のみの場合と比べて、丸形ジャガイモの中心温度を約半分の時間で目的の121℃まで昇温でき、固液混合系食品を高圧高温加熱する場合、各食品部位のF値の差を小さくするために通電加熱の併用は有効であるとしている。これより、通電加熱は他の技術と組み合わせることで、更なる可能性が広がると考えられる。

本研究のような通電加熱を利用して食肉製品製造を検討する研究例は少ない。サラミソーセージではなくボンレスハム製造における加熱工程の短縮化を目的に通電加熱利用した研究例によると⁽¹²⁾、通電加熱技術を用いることで、従来品とほぼ同等の品質で短時間に仕上げることができ、通電加熱技術は加熱処理時間の短縮に有効な技術とされ、さらに電流値を操作することで食感などの品質を調整できる可能性も見出され、特徴ある製品の製造が可能となる技術としている。

このように通電加熱をあらゆる食品の製造工程に利用する研究はされているが、本研究のように加熱試料の水分が低い試料や乾燥工程に組み込むことや、真空乾燥技術と組み合わせた研究はされていないのが現状である。

1.6 製造技術の特徴・歴史

1.6.1 真空乾燥の特徴・歴史

食品の乾燥方法には以下 Fig. 1-2 に示すように数多く存在し、真空乾燥はそのなかの一つである⁽¹³⁾。食品の乾燥は自然乾燥と人工乾燥に分けられる。主に人工乾燥が大部分を占めている。人工乾燥がまた加圧・常圧・真空の3つに分けられ、真空乾燥は真空の中の凍結乾燥ではない部類に属している。真空乾燥の範囲を水の状態図で表すと、以下 Fig. 1-3 に示すように温度0～50℃付近、圧力10～10² mmHg（13～133 hPa）付近とされている⁽¹⁴⁾。0℃以下にならない減圧乾燥と言える。

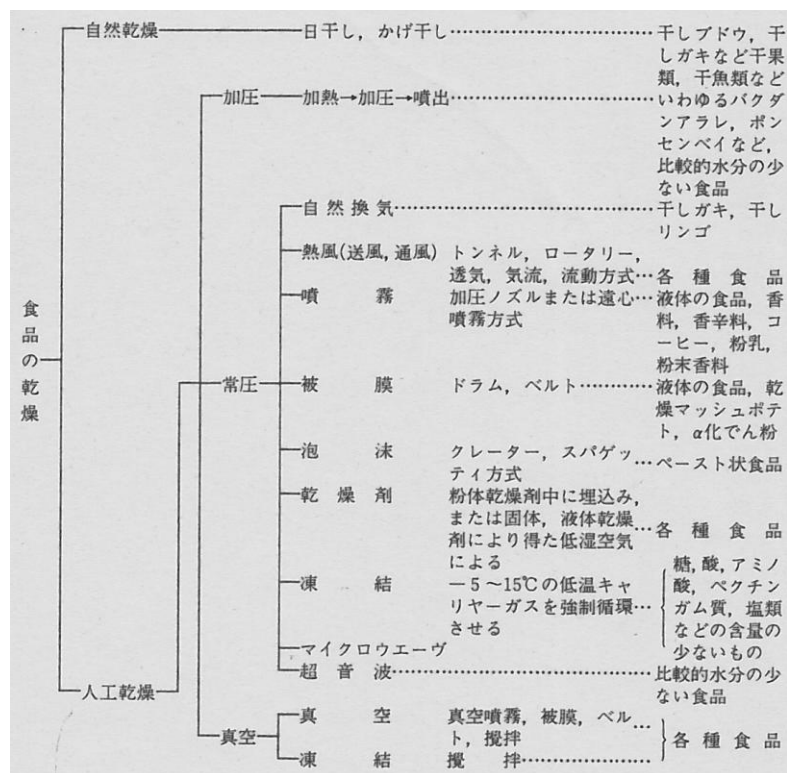


Fig. 1-2 食品の乾燥方法⁽¹³⁾

(13) 食品別の乾燥技術, 富田剛 (日研フード), 食品と科学, Vol.27 No.11 Page.85-91 (1985)

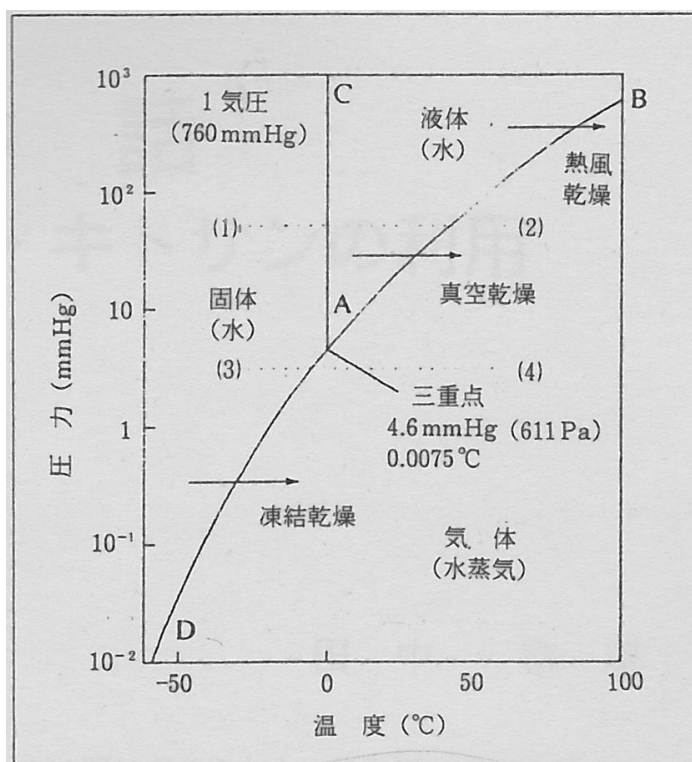


Fig. 1-3 水の状態図⁽¹⁴⁾

(14) 食品加工と食品工学シリーズ(第 12 回) 食品加工における乾燥技術 [2], 林弘通, 食品と容器, Vol.41 No.8 Page.446-454 (2000)

加熱乾燥では非常に変化しやすい物質からの完全脱水を可能にした乾燥方法は、真空乾燥法または凍結乾燥法であった。これらの乾燥方法によって理想的な乾燥食品を得ることは可能である。常圧のもとでの乾燥は、高温、低温の条件下で、食品の水分を除去するものである。これに対し真空のもとでの乾燥は、水が低い気圧下では低温で蒸発して行く原理に基づくもので、真空度を調節すれば、希望通りに低温度で乾燥を進行させることができる。真空乾燥において真空度を一定に保てば、水分の蒸発により被乾燥食品は蒸発潜熱を奪われ、品温は低下する。品温がその真空度での水の沸点以下になれば、蒸発はほとんど進行しない。そこで真空乾燥においても蒸発に必要な熱量の補給の意味で加熱を行う。加熱は乾燥の促進にあるので、高い品温で乾燥を進めることではない。

また、凍結乾燥は被乾燥食品をあらかじめ凍結しておき、比較的高真空中で水分を除去して乾燥を進める。乾燥の進行はこの際、氷→水→水蒸気の順を追うのではなく、氷→水蒸気の順であり、氷の昇華によることになる。普通に真空乾燥と称する場合でも、真空度が高い場合には、被乾燥食品は乾燥中に蒸発潜熱を奪われ、凍結してしまうので、部分的には凍結乾燥と同様の結果となる。しいて凍結乾燥と称するのは、被乾燥食品を先に凍結してから真空中で乾燥する点にある。

真空中の乾燥では、被乾燥食品の品温はつねに低温に保たれる。従って乾燥中に熱変性や、酵素、酸素による化学的成分変化があるとは考えられない。しかし前処理において、抗酸化処理、酵素の不活性化など、変色、退色、変質に対する処置を行っておかないと、乾燥製品の貯蔵中にある程度の変化が起こり、品質に悪影響を与えることになる。また、真空乾燥では製品が多孔質の状態になり、酸化表面積が非常に広がる。そのため、トマト、にんじん、缶桃（カロチノイドの多い缶詰加工用の桃）などカロチノイド色素で彩られているものは、空気中の酸素による酸化が速やかに進み、退色が起こる。このようなものに対しては抗酸化剤を添加してから乾燥すれば相当程度退色を阻止できる。

牛、豚肉などには 0.5～2.0%程度の炭水化物（おもにグリコーゲン）が含まれている。これが乾燥製品貯蔵中の変色に関係があることが認められている。このようなものの除去に酵母やグルコースオキシダーゼを使用し炭水化物を分解してしまう方法も考えられている⁽¹⁵⁾。

真空乾燥における適用食品は、粉末ジュース、粉末コーヒー、小麦グルテン、スパイス類、野菜、果実、粉末味噌、粉末練乳と言われており、主に高含糖、高粘性のスラリー状液の乾燥に適している⁽¹⁶⁾。

1.6.2 通電加熱の特徴・歴史

通電（ジュール）加熱は、電気抵抗体である食品に電気を流すことで、食品自身が自己発熱する加熱方法である⁽¹⁾。そのため、設定温度までの迅速な加熱と、設定温度以上の過熱状態を生じることのない、均一な加熱が可能となったので高品質で安全性の高い食品ができる。設定した温度で変性するタンパク質を熱履歴に差を与えることなく特異的に加熱処理することができる⁽²⁾。また、電気エネルギーが全て熱エネルギーに変換されるのでエネルギー効率も高い。通電加熱法の応用技術を開発することで、加熱時間の短縮、コストダウンを図ることが出来る⁽⁷⁾。

通電加熱は食品中に含まれるタンパク質や澱粉の変性・糊化温度を考慮した段階的加熱にふさわしい加熱法の一つであるため、様々な食品素材に対し、多段階加熱に関する実用化研究が始まり、食品加工分野で利用され始めている⁽⁸⁾。

通電加熱は、食品のもつ旨味成分、本来の風味や色や食感を損なうことなく加熱するシステムとして、ヨーロッパでは 19 世紀より研究されてきた技術である。戦後間もない頃は、電極パン製造のパン焼機として一般に知られる加熱方法でもあった。しかしながらその後長らく、ジュール加熱方法が食品製造ラインに実機として設置されることはなかった。1980 年代半ば頃、全国蒲鉾水産加工業協同組合（全蒲連）より、水産ねり製品への通電加熱の応用を依頼され、紫先生の指導のもと装置開発に取り組んだのが、(株)フロンティアエンジニアリングのジュール加熱のスタートであった。そして 1990 年代に入り、ジュール加熱装置は研究室でのラボ用テスト機から、生産工場での製造装置へと変貌していき、現在ではジャムやフルーツソース、固形入り食品、メカブ、コチュジャン類、アンコ、マカロニサラダ、ドレッシング、そして水産練り製品である蒲鉾やちくわに至るまで、あらゆる食品分野の製造ラインで利用されている。処理能力は 100kg/h から 4000kg/h で、最新の殺菌および滅菌用加熱装置として位置付けされるまでに至った。最近では高機能殺菌液卵の製造装置として、また 0.001 秒という瞬時に加熱滅菌を実現する交流高電界殺菌装置として注目を浴びている⁽¹⁷⁾。

また、通電加熱が可能かどうかは、その食品が導電性を有していることが条件に挙げられ、絶縁体は、通電では加熱できないのは当然であり、油脂、砂糖シロップ、純水、アルコールなどもこれに属する。しかし、この世に存在するほとんどの食品は、導電性をもっているので通電加熱が可能である⁽¹⁸⁾。

Table 1-4 に主な食品加熱装置との比較表⁽¹⁸⁾を示す。Table 1-4 より、通電加熱（ハイセラジュール）では、他の主な加熱装置と比較して、運転コストは普通だが、均一加熱に優れており、エネルギー効率が良いことが分かる。特に、加熱媒体が電気で同様のマイクロ波使用と比べるとよく分かる。

また、食品の殺菌操作で代表的なレトルトと比較すると、味・色・香り・固さ（テクスチャー）どれに対しても通電加熱の方が優れていることが分かる。

Table 1-4 主な食品加熱装置との比較⁽¹⁸⁾

	加熱媒体	均一加熱	運転コスト	その他
ハイセラジュールヒーター	電気	◎	普通	エネルギー効率が良い
プレート式熱交換器	蒸気	△	安い	－
チューブ式熱交換器	蒸気	×	普通	－
掻き取り式熱交換器	蒸気	△	高い	固形物が傷みやすい
インジェクション方式	蒸気	○	高い	芳香成分が失われる
マイクロ波使用	電気	△	高い	エネルギー効率が悪い
処理方法	味	色	香り	固さ（テクスチャー）
ハイセラジュールアセプティックシステム	食品本来の味が損なわれず、フレッシュ感美味しい製品ができる。	明度、赤味、青味の変化が殆どない。	風味そのものの香りが残る。	破断強度大（歯ごたえが残る）
レトルト	熱ダメージが大きく、食品本来の味が損なわれやすい。	食品により、褐変・退色の変化がある。	風味が消失し、レトルト臭がでる。	破断強度小（歯ごたえがなくなる）

1.7 本論文の構成

本論文は以下の 5 章より構成される。

第 1 章では、サラミソーセージ製造基準や現状、及び本研究の背景・目的、真空乾燥・通電加熱各技術の特徴、各技術の既往の研究を示した。

第 2 章では、サラミソーセージ製造方法の標準法と新製法の詳細を示した。

第 3 章では、真空乾燥と通電加熱を組み合わせた新しい製造方法の確立に至るまで、開発経緯について示した。

第 4 章では、標準試料と新製法試料で品質比較を行った結果について示した。品質項目は、各試料の重量変化、含水率・水分活性値、色彩、収縮率測定、そして、粗脂肪、L-グルタミン酸定量、マイクロスコープを用いた表面観察について行った。

第 5 章では、本研究の要約、及び本研究により得られた結果、今後の展望を示し、それを総括したものである。

参考文献

- (1) 手造りハム・ソーセージの製造技術と副資材, 原田良一 (清水源商店), 食品と科学, Vol.29 No.3 Page.107-110 (1987)
- (2) 食肉製品の規格基準改正—その背景と改正ポイント—, 太田周司
- (3) Oxidation of Controlled Low-temperature Vacuum Dehydrated and Freeze-dried Beef and Pork (調製低温真空乾燥及び凍結乾燥した牛肉と豚肉の酸化), KING V A-E, CHEN J-F (National Chung-Hsing Univ., Taichung, TWN), Meat Science, Vol.48 No.1/2 Page.11-19 (1998)
- (4) 凍結・乾燥技術を利用した食肉製品の乾燥工程の短縮, 井上吉一, 佐藤亘 (プリマハム), 食品産業センター技術研究報告, No.10 Page.41-46 (1987)
- (5) Effect of Drying Methods with the Application of Vacuum Microwaves on the Bioactive Compounds, Color, and Antioxidant Activity of Strawberry Fruits (イチゴ果実の生理活性物質, 色及び抗酸化活性等に及ぼす真空マイクロ波での種々の乾燥方法の影響), WOJDYLO Aneta, FIGIEL Adam, OSZMIANSKI Jan, J Agric Food Chem, Vol.57 No.4 Page.1337-1343 (2009)
- (6) マイクロ波減圧乾燥法による高品質な乾燥野菜の開発, 寺西隆敏, 食品と開発, Vol.23 No.9 Page.43-46 (1988)
- (7) 水産加工品新商品の開発 2 通電加熱技術の導入による水産食品の加熱及び殺菌技術の高度化-カツオ節・マグロ油漬け缶詰の製造など大型魚を効率よく加熱するための通電加熱技術の開発-, 高木毅 (静岡県水技研), 下山修平 (東海大 海洋), 静岡県水産技術研究所事業報告, Vol.2009 Page.58-59 (2010)
- (8) 通電加熱法を用いた豆乳の二段階加熱と豆腐加工-新食感ぷるぷる豆腐の製法と利用-, 辰巳英三 (国際農林水産業研究セ), 食品と容器, Vol.48 No.6 Page.358-362 (2007)
- (9) 食品の加熱・乾燥技術の近況 ジュール加熱技術の食品利用への近況-冷凍マグロの高品位迅速解凍-, 秋山美展 (秋田県大 生物資源科学), ジャパンフードサイエンス, Vol.47 No.10 Page.26-30 (2008)
- (10) 通電加熱を利用したパン粉用のパン製造における品質向上に関する試験, 熊林義晃・河野慎一・清水英樹・岩下敦子・山崎邦雄, 北海道立食品加工研究センター研究報告, No.5, P.19-23 (2002)
- (11) 通電加熱技術を利用した食品加熱試験, 熊林義晃・金野利春・河野慎一, 北海道立食品加工研究センター研究報告, No.4, P.13-20 (2000)
- (12) 通電加熱技術による食肉製品の加工, 熊林義晃・井上貞仁, 北海道立食品加工研究センター研究報告, No.6, P.17-21 (2005)
- (13) 食品別の乾燥技術, 富田剛 (日研フード), 食品と科学, Vol.27 No.11 Page.85-91 (1985)
- (14) 食品加工と食品工学シリーズ(第12回) 食品加工における乾燥技術 [2], 林弘通, 食品と容器, Vol.41 No.8 Page.446-454 (2000)
- (15) 食糧-その科学と技術-, 農林省 食糧研究所, No.3 Page.56-66 (1959)
- (16) 食品加工と食品工学シリーズ (第11回) 食品加工における乾燥技術 [1], 林弘通, 食品と容器, Vol.41 No.7 Page.392-397 (2000)

- (17) 食肉・水産加工技術の近況 水産ねり製品など加工食品製造へのジュール加熱利用の近況, 星野明 (フロンティアエンジニアリング), ジャパンフードサイエンス, Vol.49 No.8 Page.29-33 (2010)
- (18) 食品加工の新技术 4 通電加熱による最新殺菌技術, 多田宗儀 (イズミフードマシナリ テクノセ), 食品と開発, Vol.43 No.9 Page.15-17 (2008)

第2章 各製法におけるサラミソーセージの製造方法

(標準製法・新製法)

2.1 サラミソーセージ製法フローチャート (標準製法・新製法)

以下に従来の製法である標準製法と真空乾燥と通電加熱を組み合わせた新製法のサラミソーセージ製法のフローチャートを示す。また、各方法の詳しい方法などについて 2.2 に示す。また、以下の製造法は一般的に用いられているサラミソーセージの製法を元に作成した。大まかな流れとしては、まず、新鮮な原材料肉豚肩ロース肉 500 g と豚もも肉 500 g をミンチ状にし、60 φ mm サイズのケーシングに充填し、小型スモークハウス(花木工業㈱)で約 23 時間かけて乾燥、燻煙、蒸煮殺菌、風乾を行った。また、燻煙工程に用いたスモークウッド(進誠産業㈱)はサクラを使用した。

小型スモークハウスから試料を取り出し後、標準製法の場合、低温恒温槽 5℃にて冷蔵乾燥を試料の含水率 35%以下・水分活性値 0.87 未満の基準を満たすまで乾燥させる。予備実験から重量減少約 45%でこの製品基準を満たすという結果が得られたため、ケーシング充填を行った試料重量から 45%減少を乾燥終了点とした。試料重量及び直径、長さを経時的に測定した。また、製造後含水率、水分活性値、色彩値測定、グルタミン酸、粗脂肪定量、表面観察を行った。

新製法の場合では、小型スモークハウスから試料を取り出した後、一度試料をタッパーに入れ乾燥させない状態にし、約 6 時間放置して試料温度を冷却させる。その後、自作の真空乾燥機を用いて乾燥させる。乾燥時、通電加熱により温度制御するため、試料に多点接触型の電極(剣山)を装着した。しかし、そのままでは装着出来ないため、試料結索部を切断し、ケーシングを貼り付けて電極を挿入した。装置はアクリル製真空デシケーターと通電加熱装置(周波数 50Hz)を用いて、真空状態を保ちながら通電加熱ができ、試料温度および重量を経時的に測定出来るように改良した。重量はポータブル天びん(BJ1500S sartorius)を用いた。測定試料温度を元に通電加熱の温度制御を可能としている。また、このとき試料中心温度、端部温度を経時的に測定した。試料直径・長さは乾燥前、乾燥後に測定を行った。庫内の最大真空度は 5~8 hPa となっている。この乾燥機によって、試料重量が約 45%以上になるように乾燥させた。乾燥後、急速に乾燥させた試料の乾燥ムラを抑制させることを目的に、あんじょうを 3 日行う。その後、標準製法と同様に、製造後含水率、水分活性値、色彩値測定、グルタミン酸、粗脂肪定量、表面観察を行った。

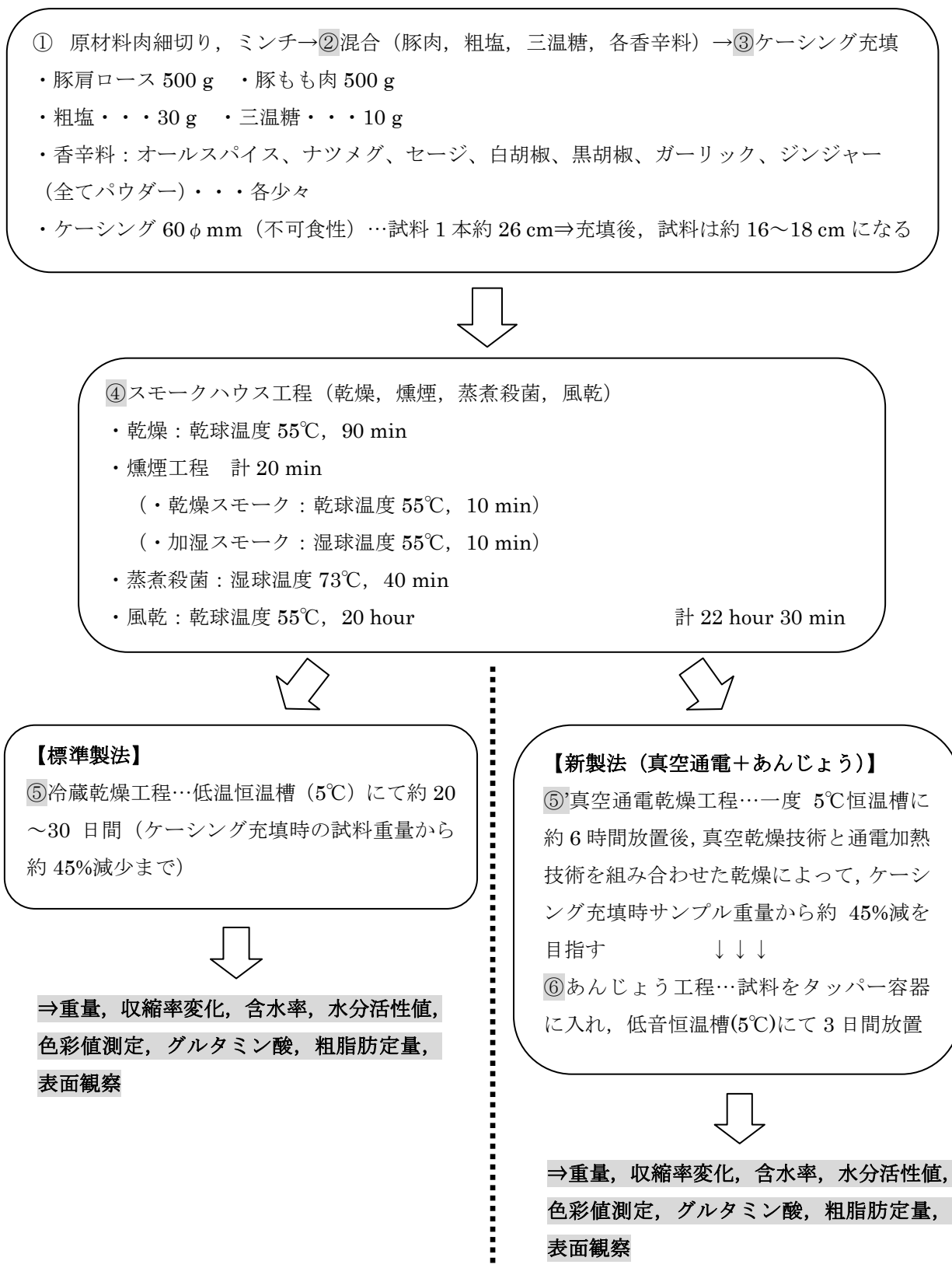


Fig. 2-1 サラミソーセージ製造工程フローチャート

2.2 各工程の説明

① 原材料肉細切り

新鮮な原材料肉の豚肩ロース肉（500 g）と豚もも肉（500 g）を1切れ約4～5 cm ずつになるように切断し、切断したものを電動式ミートミンサー（㈱日本キャリア工業）によってミンチ状の肉に細断する。

②混合（豚肉，粗塩，三温糖，各香辛料）

ミンチ状になった肉に粗塩 30 g，三温糖 10 g，各香辛料を加え，手で混合する．肉に粘り気が出てくるまでよく混ぜる．混ぜても粘り気が出ない場合，冷水を少量加えて粘り気を出す．また，混合時は肉の温度がなるべく上がらないように注意する．

③ケーシング充填

調味料などを混合した肉を空気溜りが出来ないようソーセージスタッパー（充填機）（Friedr. Dick GmbH 製）に入れ，あらかじめお湯に浸けていたファイブラスケーシング（60 φ mm）に空気が入らないようしっかりと充填し，固く絞り込み，最後にケーシングの端を結索機（TIPPER TIE technopack GmbH 製）を用いて結索する．この時の試料重量，直径，長さを初期データとする．

④スモークハウス工程（乾燥，燻煙，蒸煮，風乾）

スモークハウスは小型スモークハウス（花木工業㈱製）を用いた．小型スモークハウスは熱風を送風することで庫内温度を制御できる仕組みとなっている．また，庫内に水蒸気を噴き込むことで，湿球温度も制御できる装置となっている．

はじめに「乾燥工程」として，予め乾球温度 55℃に設定したスモークハウス庫内に試料をたこ糸で吊るし，熱風によって 90 分乾燥させた．

次に，「燻煙（スモーク）工程」として，庫内に煙を入れた．スモークの工程の 10 分前からヒーターを用いてスモークチップを 200℃以上に加熱し，早急に煙を庫内に入れられるようにした．「乾燥スモーク」は乾球温度 55℃，「加湿スモーク」は湿球温度 55℃でそれぞれ 10 分行った．スモークウッドはサクラチップ（進誠産業㈱）を用いた．「加湿スモーク」で湿球温度を設定したことで，ボイラーから高温の水蒸気をスモークハウス庫内に入れ，湿度を高めた．

次に，湿球温度を 73℃に上昇させ 40 分間「蒸煮殺菌工程」を行った．このとき庫内の湿度はほぼ 100%となっている．この工程によって乾燥食肉製品では定められていないが，加熱食肉製品において食品衛生法で定められた 63℃，30 分相当の加熱殺菌を行っている．一般的に日本で製造されているサラミソーセージはこのように加熱殺菌を行った後，乾燥工程を行う製造法となっている．⁽¹⁾

スモークハウス工程の最後に「風乾工程」を乾球温度 55℃，20 時間行った．この操作を長時間行い過ぎると，今回用いている 60 φ mm サイズの様な太物サラミは表面部分での乾燥が進行し，中心部分との乾燥ムラが起きたり，脂が溶け出てしまったりという現象が起こるため，本研究では表面の乾燥が進行し過ぎないように 20 時間と設定した．スモークハウス工程（乾燥，燻煙，蒸煮，風乾）を通して，試料重量をケーシング充填後から約 20%減少させる．

※ここまでの工程は標準製法，新製法ともに同様である．

⑤冷蔵乾燥工程

スモークハウス工程後、標準製法では、低温恒温槽（5℃設定）の中にタコ糸で吊るし、約 30 日（ケーシング充填時の試料重量から約 45%減少まで）乾燥させる。乾燥後、試料の重量、収縮率測定、含水率、水分活性値、色彩値測定、グルタミン酸、粗脂肪定量、表面観察を行った。

⑤' 真空通電乾燥工程

小型スモークハウスから試料を取りだした後、真空通電乾燥を行う試料は一度タッパーに入れ乾燥させない状態にし、約 6 時間放置して試料温度を冷却させる。試料温度が低い状態から真空通電乾燥を行う方が温度制御をうまくできることからこのようにした。また乾燥時、通電加熱により温度制御するため、試料に多点接触型の電極（剣山）を付属させた。しかし、そのままでは付属出来ないため、試料結索部を切断し、電極を挿入した。また、切断部からの乾燥を防ぐため、ケーシングを貼り付けて挿入した。

新製法では、真空乾燥技術と通電加熱技術を組み合わせた装置（詳細は以下第 3 章に示す）を用いて、試料温度が 20℃以上にならないよう通電加熱装置の温度制御を中心温度 16℃制御とし、乾燥を行った。乾燥終了点は 50%とした（標準製法よりも乾燥ムラがあり基準を満たせなかったため 5%多く乾燥させた）。また、装置は自作の真空乾燥機を用いた。アクリル製真空デシケーターと通電加熱装置（周波数 50 Hz）を用いて、真空状態を保ちながら通電加熱ができ、試料温度および重量を経時的に測定出来るように改良した。重量はポータブル天びん(BJ1500S sartorius)を用いた。通電加熱による温度制御は測定試料温度を元に可能としている。この乾燥工程中、試料中心温度、端部温度を経時的に測定した。乾燥後、以下に示すようにあんじょう操作を行った。

⑥あんじょう工程^②

新製法（真空通電乾燥工程）では、乾燥後にあんじょう工程を取り入れた。あんじょうとは、表面からの水分の蒸発を抑え内部の水分を表面に拡散するために行われる操作のことである。真空乾燥は減圧下での急速な乾燥のため、試料表面と内部で乾燥ムラが出てしまうため、このようなあんじょう操作を行い、上乾きを防ぎ、乾燥ムラを軽減する効果を狙った。本研究ではあんじょう操作は、試料をラップ（ポリエチレンフィルム）に密閉し^②、タッパー容器に入れたものを低音恒温槽（5℃）にて 3 日間放置した。放置後、標準製法と同様に試料の重量、収縮率、含水率、水分活性値、色彩値測定、グルタミン酸、粗脂肪定量、表面観察を行った。

2.3 スモークハウス工程の温度履歴

原料肉に調味料を加えて混合し、サイズ 60φ mm のケーシングに充填した試料をスモークハウス工程で乾燥したときの全体の温度履歴を以下 Fig. 2-2 に、蒸煮殺菌工程までの履歴に着目したものを（乾燥開始から 180 min まで）以下 Fig. 2-3 に示す。温度は、試料中心温度、表面温度、庫内温度をそれぞれ測定した。

Fig. 2-2 を見ると、はじめの予備乾燥（乾球温度 55℃設定）により、試料中心温度は緩やかに上昇しているが、スモークハウスでの工程の大半は、55℃設定の風乾工程であることが分かる。この工程によって試料の大部分を乾燥させるが、この条件でそのまま乾燥を行うと、表面部分の乾燥が内部よりも先に進行してしまい、乾燥ムラのある試料となってしまう。そのため、乾燥を速く進行させたいが、乾燥ムラを抑えたいという意味で、風乾工程は乾球温度 55℃設定で、約 20 時間となっている。予備乾燥の 55℃という温度設定も乾燥ムラを抑えながら温度上昇させるためである。この風乾工程により、試料はケーシングに充填した後の試料から約 20%重量減少する。また、Fig. 2-2 から食品衛生法で定められている「乾燥温度は 50℃以上、又は 20℃以下」をほぼ満たしていることが分かる。

さらに、Fig. 2-3 における試料中心温度履歴に注目すると、蒸煮殺菌工程（湿球温度 73℃設定）を開始から 110 min で設定したため、140 min 過ぎ辺りから、試料中心温度は 70℃付近まで温度上昇し、63℃以上の温度を 30 分以上たどっている。このことから、加熱食肉製品などに設定されている殺菌条件「中心温度 63℃、30 分以上」を満たしていることが分かる。第 1 章で示したように、サラミソーセージは乾燥食肉製品に分類され、加熱食肉製品などとは異なり、特に殺菌条件は定められていないが、日本で製造されているサラミソーセージはほとんどこのように殺菌が行われている。

また、100 min 過ぎから表面温度が一度 70℃付近まで上昇しているのは、燻煙工程の加湿スモーク（湿球温度 55℃設定）によるためである。その前工程の乾燥スモーク（乾球温度 55℃設定）による温度履歴への影響はほとんど見られなかった。

このように、サラミソーセージ製造はまずスモークハウス内での工程によって、Fig. 2-2 に示す温度履歴をたどる試料を製造する。その後、標準製法では、低温恒温槽を用いて 30 日という長時間の「冷蔵乾燥工程」を行う。新製法では、スモークハウスから取り出した後、試料温度を低下させるため、一度タッパーに入れ低温恒温槽（5℃）にて冷却する。その後、真空装置、通電加熱装置を用いて「真空通電乾燥工程」を行う。

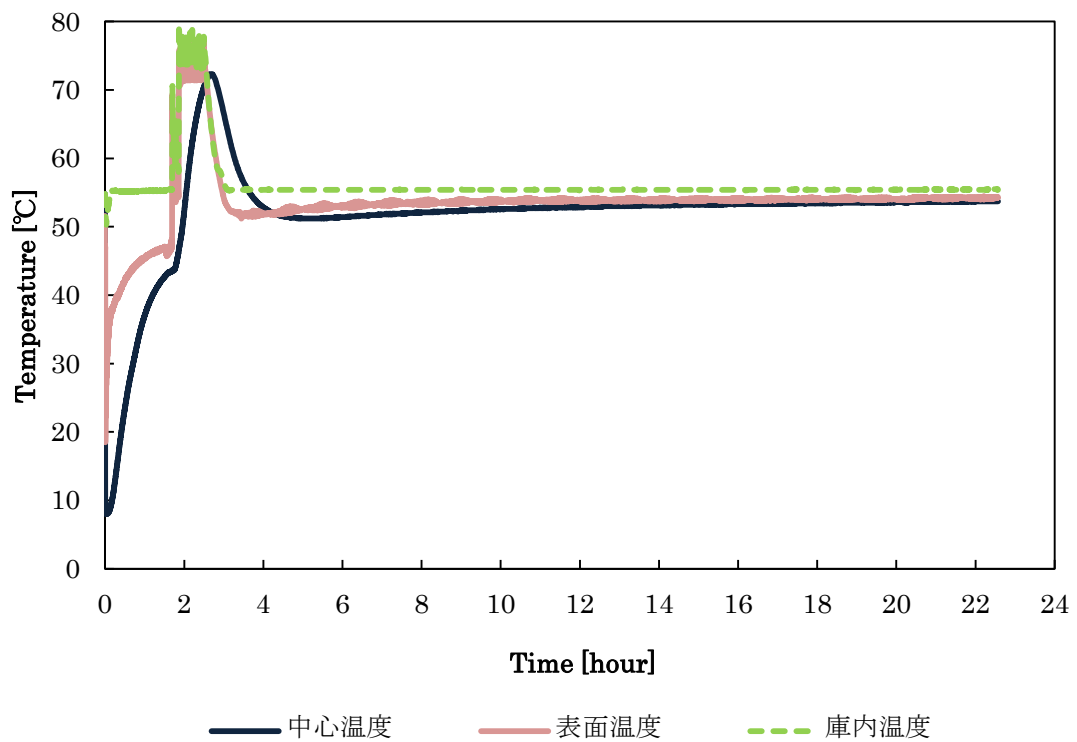


Fig. 2-2 スモークハウス工程における温度履歴

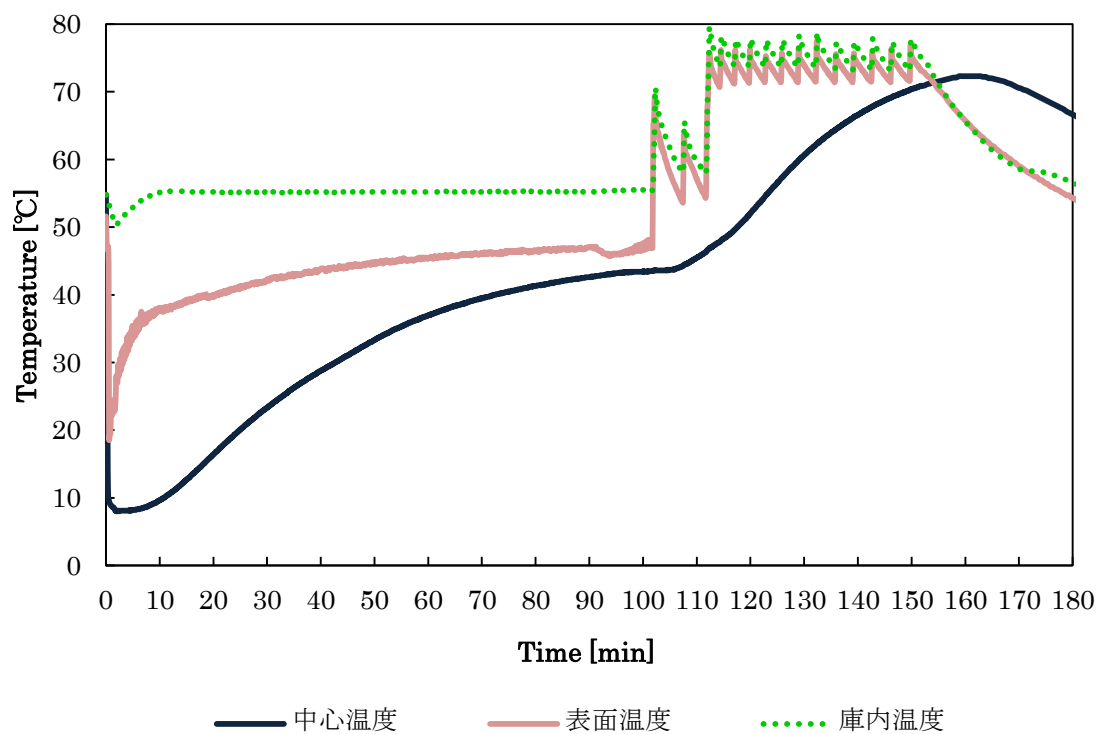


Fig. 2-3 スモークハウス工程における温度履歴 (開始から 180min までに着目)

2.4 新製法における使用装置について

スモークハウス工程後、新製法では一度試料を冷却し（20℃以下での乾燥を満たすため）、その後、真空乾燥と通電加熱を組み合わせた真空通電乾燥を行う。

ここでは、真空通電乾燥に用いる装置について述べる。以下 Fig. 2-4 に装置概略図、Fig. 2-5 に装置写真を示す。まず、真空装置は、アクリル製真空デシケーターVLH-C 型（アズワン㈱）を、そして、真空ポンプは、160VP CuteVac（HITACHI）をそれぞれ用いた。この装置では真空状態を保持しながら試料に通電加熱をかけられるように、庫内に電源を送り込める外部スイッチ付コンセント（100 V 15 A 1 連式）が元々2 個付属している VLH-C 型のアクリル製真空デシケーターを用いた。このコンセントを改良し、通電加熱装置と繋げて、電源コードの先をワニ口クリップにし、試料を挟む電極に付属出来る形にした。これにより、通電加熱装置からの電源を真空状態の庫内へ送ることができるようになり、真空下での試料温度を制御可能とした。

また、通電加熱装置は SUPER JOULE 920 を用いた。周波数は 50Hz であり、主に電圧で制御を行う原理で測定試料温度を元に温度制御が可能となっている。真空下において試料温度を経時的に測定するため、真空デシケーターに熱電対を挿入する穴を開けた。穴を開けて熱電対を設置した後、庫内を穴を開ける前の真空状態に出来るよう接着剤を用いて完全に穴を塞いだ。接着剤はアクリル素材に適したものをを用いた。（セメダインバスコーク N・セメダイン㈱）これにより、元々の真空庫の最大真空度（約 1.33 hPa）に近付けた。現在の真空庫内の最大真空度は約 5～8 hPa となっている。

また、熱電対はシース型 K 型熱電対(1.0 φ mm)を用い、通電の影響を受けないように挿入部分（試料測定部位）をパラフィルムにて絶縁した。温度は試料中心温度（温度制御点と同箇所）、端部分温度を経時的に測定した。

試料重量は、ポータブル天びん(BJ1500S sartorius)を乾燥庫内に入れ、測定した。重量においても温度と同様に経時的に測定するため、熱電対を真空デシケーター内に設置したのと同じように穴を開けて、通信ケーブルをつなぎ、真空下のデータを随時 PC に取り込めるようにした。

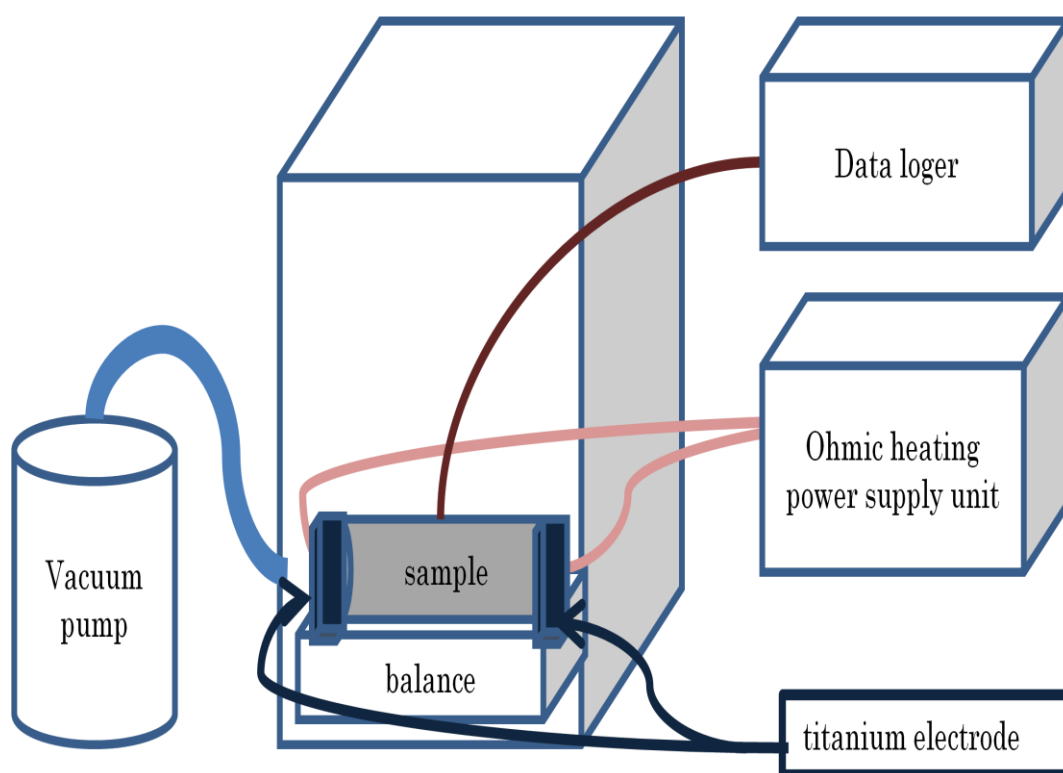


Fig. 2-4 真空通電装置概略図

※本研究では合金製を使用



Fig. 2-5 装置写真

2.5 新製法における特徴

真空乾燥と通電加熱を組み合わせた新製法（真空通電乾燥）の特徴は、まず、圧力低下による水の沸点の降下である。試料を減圧下に置くことで、水が水蒸気になる温度帯が変化し、温度が低い状態においても乾燥が進行し、通常の常圧下での乾燥よりも乾燥速度が上昇する。それによって、乾燥期間を短縮する事が出来る。常圧のもとでの乾燥は、高温、低温の条件下で、食品の水分を除去するものである。これに対して真空のもとでの乾燥は、水が低い気圧下では低温で蒸発して行く原理に基づくものなので、真空度を調節すれば、希望通りに低温度で乾燥を進行させることができるという特徴がある。⁽³⁾

次に、蒸発潜熱による温度低下を抑え、乾燥を促進できることである。真空乾燥において真空度を一定に保てば、水分の蒸発により被乾燥食品は蒸発潜熱を奪われ、試料温度は低下する。試料温度がその真空度での水の沸点以下になれば、蒸発はほとんど進行しない。しかし、均一加熱が特徴の通電加熱を組み合わせることで、試料全体の温度を均一に近づけ、乾燥を促進しつつ乾燥ムラを防ぐことができる。蒸発に必要な熱量の補給の意味で加熱を行う。加熱は乾燥の促進であるため、高い温度で乾燥を進めることはしない。50℃以上で新製法を行った場合、試料内部の脂身が溶け出てしまい、断面が穴だらけの試料となってしまった。そのため、20℃以下での温度制御により乾燥を促進させた。

そして、通電加熱に用いる電極の形状である。通電加熱時の電極は、その形や接触の仕方によって、熱の伝わり方や、通電可能期間などに大きく影響する。本研究では電極に多点接触型のような試料に直接挿入するタイプ（剣山型）を用いることで、試料との密着性がとても強く、接触表面積が大きく、乾燥により試料の収縮が起こったとしても離れることがないため、平板型の電極や棒の電極よりも長時間、そして均一な加熱制御を行うことが出来る。

参考文献

- (1) 凍結・乾燥技術を利用した食肉製品の乾燥工程の短縮, 井上吉一, 佐藤亘 (プリマハム), 食品産業センター技術研究報告, No.10 Page.41-46 (1987)
- (2) 魚肉ソーセージの乾燥工程におけるあん蒸操作と水分移動動特性, 小西靖之 (北海道工技セ), 小林正義 (北見工大), 日本食品科学工学会誌, Vol.46 No.4 Page.205-211 (1999)
- (3) 食糧-その科学と技術-, 農林省 食糧研究所, No.3 Page.56-66(1959)

第3章 製造工程における加熱・乾燥法の検討

3.1 開発経緯

【研究背景】

現在、サラミソーセージ等の燻煙食肉製品の製造工程は、製造（特に冷蔵乾燥工程）に長時間必要としている。直径 60φ mm サイズの太物サラミは乾燥に 30 日以上かかっているのが現状である。冷蔵乾燥工程は乾燥ムラを抑えるという理由で、長い時間（約 30 日）をかけ、緩やかな乾燥を行っている。食肉ドライ製品の乾燥には通常冷風による低温での通風乾燥（冷蔵乾燥工程）が行われているが、この場合、乾燥に長い時間を要するほか、乾燥の均一化の調製が困難であるなどの問題がある。経済的、エネルギー的な面から食肉ドライ製品の工程短縮化技術の開発は求められている。

【目的】

従来法における冷蔵乾燥工程に代わる新しい手法として『真空乾燥技術＋加熱技術』を組み合わせた乾燥を行うことで、サラミソーセージ製造における乾燥時間の短縮を目指す。また、新しい手法の確立とともに、従来法のものと同等の品質に近づけることを目指す。

3.1.1 加熱技術の選択

まず、はじめに加熱技術に「遠赤外線ヒーター」を用いて、『真空乾燥技術＋遠赤外線ヒーター』を組み合わせた方法による乾燥実験を行なった。

その結果、試料の置き方などにより遠赤外線ヒーターの熱が当たる部分のみの加熱・乾燥が進行し、局所的な乾燥が起こってしまった。細物のサラミ試料をこの手法によって乾燥した実験結果を以下 Fig. 3-3 に示す。中心部分の表面温度を温度制御点とし、8 時間乾燥を行い、ヒーターから近い上部の試料表面付近肉とヒーターから遠い下部の表面付近肉の含水率・水分活性値を測定した結果である。

8 時間乾燥を行ったなかで含水率は約 10 [%] の差、水分活性値は約 0.06 [-] の差があることが分かるが、今回の乾燥試料において含水率・水分活性値ともに、35 [%] 以下、0.87 [-] 未満の条件を満たすまでさらに乾燥が必要であり、この差がさらに大きくなることが考えられる。

これより真空乾燥技術＋遠赤外線ヒーターを組み合わせた乾燥法は、ただ組み合わせただけでは均一な乾燥は難しいため、試料が絶えず回転するなど加熱技術にさらに一工夫を加え、一部分の加熱・乾燥を防ぐ必要があることが分かった。

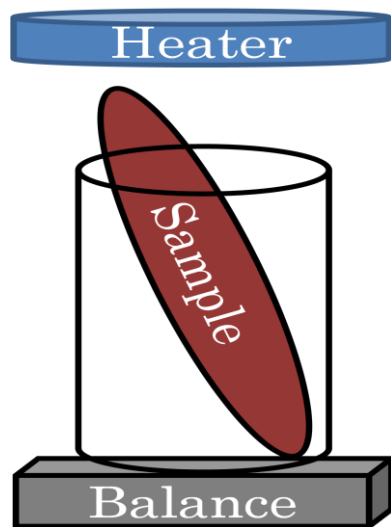


Fig. 3-1 装置概略図

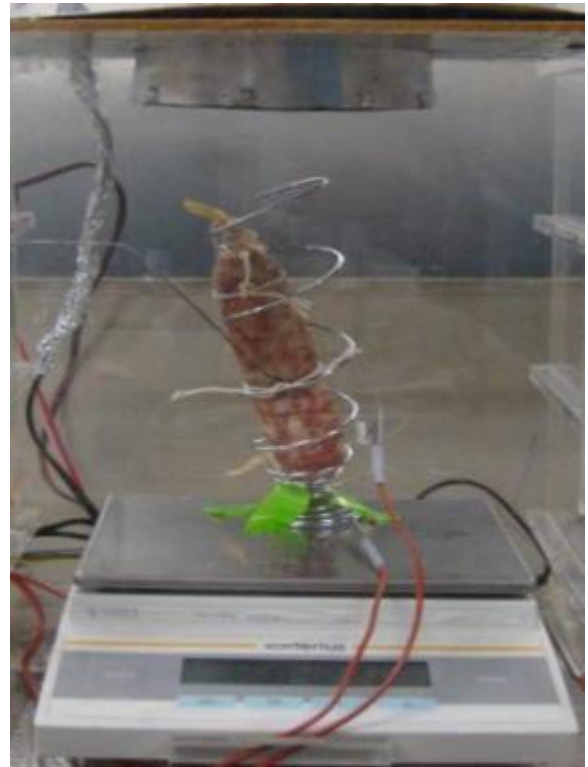


Fig. 3-2 装置写真

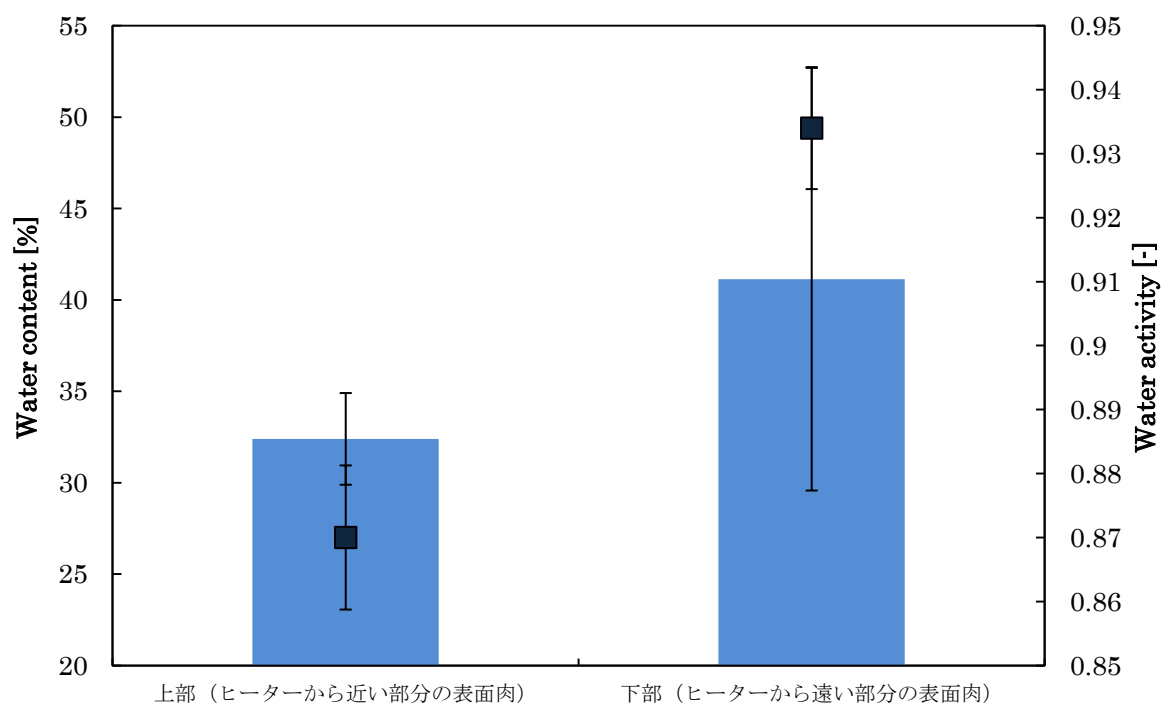


Fig. 3-3 ヒーター距離の異なる部位における含水率・水分活性値結果 (n=3)

次に、均一加熱が特徴の通電加熱を加熱技術に用い、『真空乾燥技術＋通電加熱技術』を組み合わせた方法による乾燥実験を行うこととした。この 2 つの技術を組み合わせた乾燥方法の知見は無い。

真空乾燥と通電加熱により、乾燥速度は大きくなる。しかし、試料の一部にでも変性や乾燥が進行すると試料が含む水分が低下し、電気が通らなくなるため、通電加熱が行えなくなる。このように 2 つの技術を組み合わせることで、乾燥は迅速にはなるが、長時間の通電加熱が行えないという矛盾が起こる。

また、常圧下において、通電加熱のみ行った場合、均一に加熱が出来た試料においても、減圧下では対流伝熱が起こらない、蒸発潜熱による温度低下などのため、均一加熱が出来ない場合があることが分かった。常圧下と減圧下とで通電加熱での熱の伝わり方は異なることが分かった。また、減圧下において、通電加熱を行ったとしても電極と試料との接触が適切でない限り、サラミ製造に適した長時間の温度制御が行われないという結果が得られた。

そこで、通電加熱を行う際の密着性・接触面積に着目し、減圧下における通電加熱を行う際の最適な電極の検討を行うこととした。検討する電極には、チタン製平板、チタン製棒、合金製剣山の 3 点を用いた。

3.1.2 通電加熱における使用電極の選択

真空乾燥技術＋通電加熱技術①

まず、電極にチタン製平板を用いた乾燥実験の温度履歴結果を Fig. 3-7 に示す。試料と電極板は Fig. 3-4, Fig. 3-5 のように操作した。サラミ試料はスモークハウス工程後の試料の両端を切断し、そこにチタン製電極板を挟み込んだ。温度測定点は Fig. 3-6 のように中心温度①、中心温度②、表面温度の 3 点とした。また、通電加熱装置は周波数 20 kHz のものを用い、100 V、2 A 上限で中心温度①を電源 ON・OFF により 40℃の温度制御を行った。Fig. 3-7 より、約 2 時間という短い時間で通電加熱の制御が終了し、電気を通さないほどの乾燥や加熱変性が起きたことが分かる。加熱制御が 2 時間では通電加熱を用いた効果がほとんど無い結果である。実際には 2 時間後も試料に通電加熱を行っているのだが、どの温度測定点も温度が低下し、温度制御が出来なくなった。

そこで、この時試料表面はどのような状態になっているのか、写真撮影を行った【Fig. 3-10, 3-11, 3-12】。写真から分かるように電極接触面のみが乾燥し切ってしまっているために、内部の乾燥が進んでいなくても電気が通らないという現象が起きたと考えられる。この局所的乾燥部分の含水率を測定したところ、約 32%であった。

短時間で通電不可となった要因は、乾燥試料と電極との接触部分において加熱、加熱に伴う変性、そして乾燥が一部で急速に進んだことによるものだと考えられる。また、試料が乾燥、収縮していくにしたがって、試料とチタン製電極平板との密着性が弱くなった事も要因として考えられる。このように少しの隙間でも生じると加熱制御が正常に行えないことは通電加熱の欠点である。

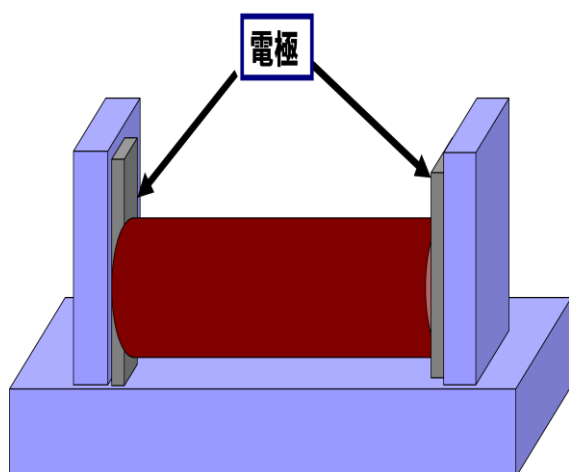


Fig. 3-4 実験操作概略図

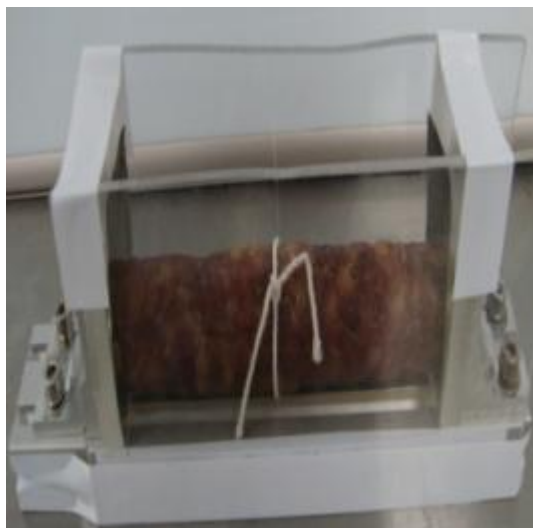


Fig. 3-5 チタン平板電極における実験写真

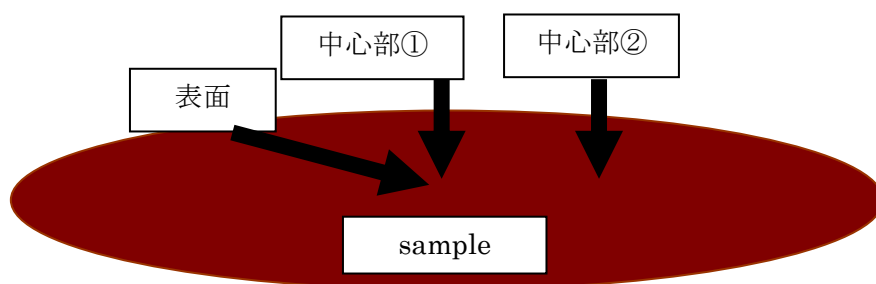


Fig. 3-6 乾燥実験における温度測定点

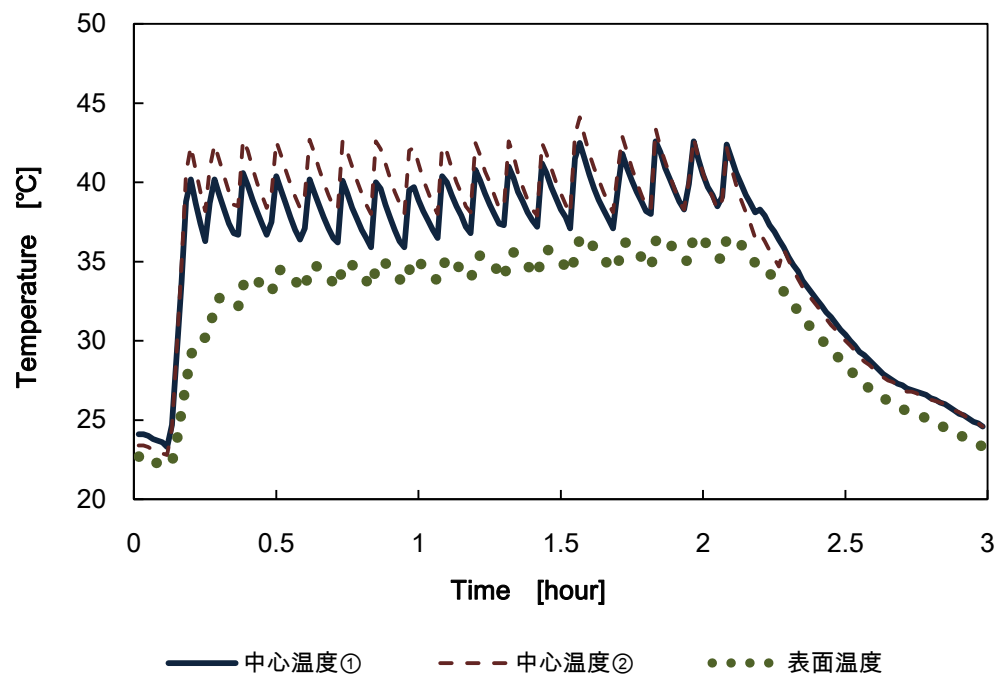


Fig. 3-7 チタン平板電極における温度履歴結果

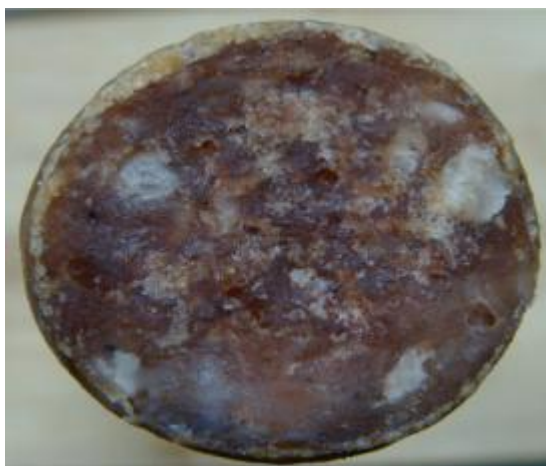


Fig. 3-8 電極接触面



Fig. 3-9 電極接触面における断面写真



Fig. 3-10 断面写真（拡大）

真空乾燥技術＋通電加熱技術②

次に、電極にチタン製棒を用いた乾燥実験の温度履歴結果を Fig. 3-13 に示す。電極は Fig. 3-11, Fig. 3-12 のように乾燥試料に対して、チタン製棒の 2 本が垂直になるように挿入して装着した。

温度測定点、実験条件はチタン平板での実験と同様に行った。密着性は平板型電極よりも強く、常圧下において通電加熱での温度制御が可能であった。しかし、Fig. 3-13 見ると減圧下においては、蒸発潜熱による温度低下の方が通電加熱による温度上昇（保持）よりも強く、温度制御を行うことが出来なかった。中心温度を 40℃まで加熱しようとしたが、26℃付近まで上昇した後、低下していった。これはチタン製平板での乾燥実験と同様に、電極と試料のと接触部分の乾燥が局所的に進行してしまい、電気を通すことが出来ない程度の乾燥が起きており、潜熱による冷却効果を上回る発熱が出来ていないと考えられる。

チタン製板の平板型に比べると棒型は試料と電極との接触面積が小さいため、それに伴い加熱量も少なくなったと考えられる。試料に挿入するチタン製棒の電極を増やして同様の実験を行ったが、同様の傾向で発熱量が足りず、温度制御を行えないという結果となった。

そこで、減圧下における通電加熱の最適な電極は、収縮が起きても対応できる密着性の強さと、接触面積が大きいという特徴を兼ね備えているものが良いということが考えられ、次に、生け花などで使用される多点接触型の「剣山」を検討した。実際の食品製造の現場では、電極の素材は定められているが、本研究では市販の剣山をそのまま使用したため、合金製のもので行った。

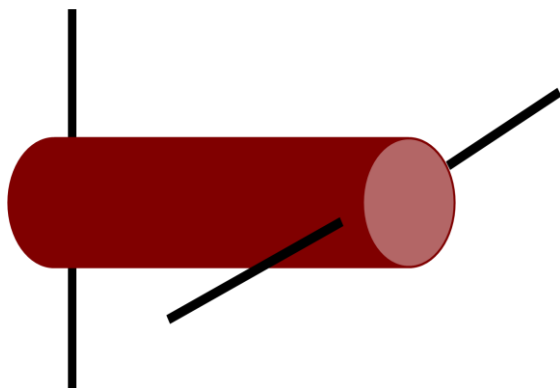


Fig. 3-11 実験操作概略図

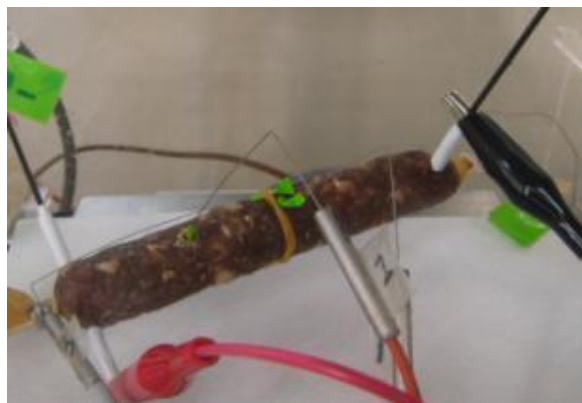


Fig. 3-12 実験写真

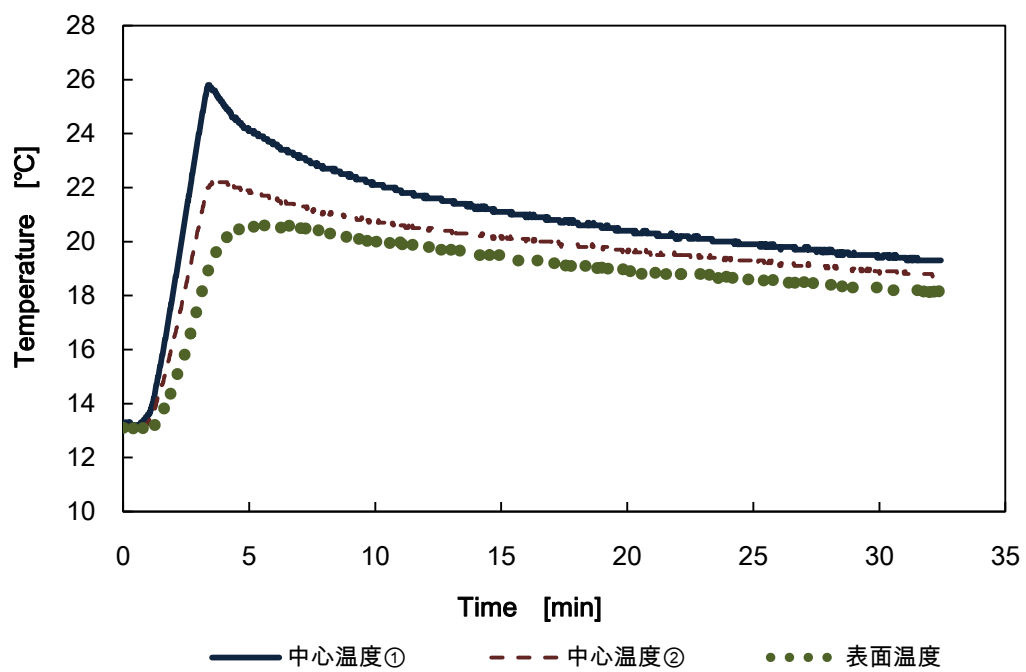


Fig. 3-13 チタン製棒における温度履歴結果

真空乾燥技術＋通電加熱技術③

2 種類の電極による失敗から、サラミソーセージ製造において真空乾燥と通電加熱を組み合わせるためには、「密着性」と「接触面積」が重要ということが得られた。そこで、接触面積が大きく、密着性の強い電極として、いくつもの針を突き刺すような多点接触型のものが適すと考え、生け花などで使用される「剣山」を用いて平板・棒電極と同様に乾燥実験を行った。剣山はそのままの状態では試料に装着できないため、試料両端の結索部を切り落として装着させた。また、切断部位からの局所的な乾燥を防ぐため、試料と剣山型電極の間にケーシングを挟み込んだ。温度測定点、実験条件はチタン平板・チタン棒での実験と同様に行った。温度履歴の結果を Fig. 3-16 に示す。

Fig. 3-16 を見ると、減圧下において通電加熱を開始してから 14 時間以上の間温度制御を行うことができ、多点接触型の電極として剣山を用いたことで、減圧下においても通電加熱によって長時間試料の温度制御を行うことが出来た。この 3 つの実験から電極は「剣山」を用いることとした。

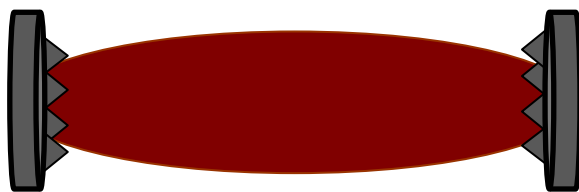


Fig. 3-14 実験操作概略図



Fig. 3-15 実験写真

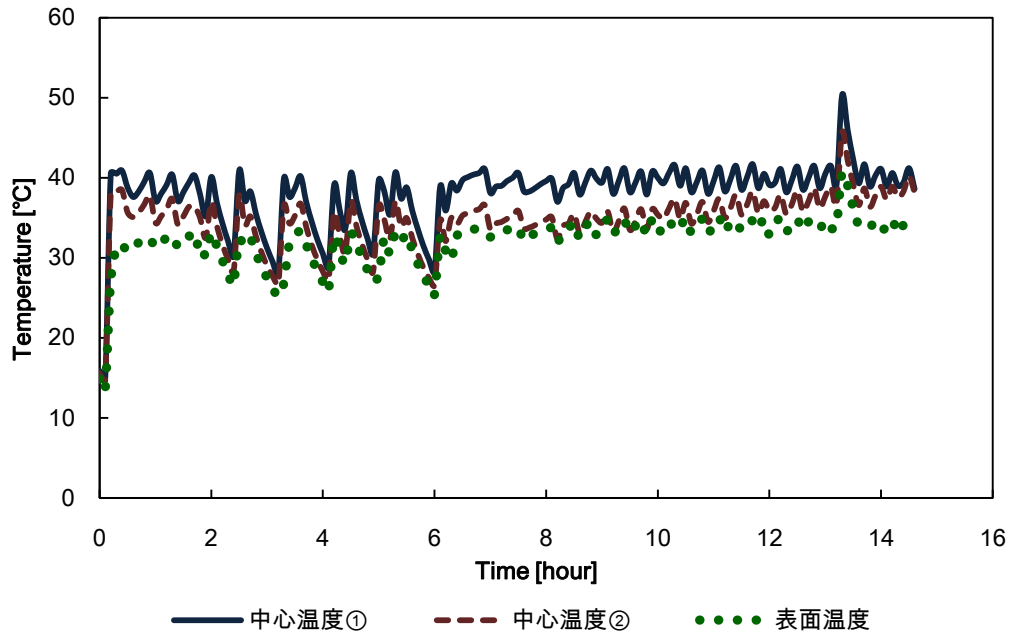


Fig. 3-16 剣山型電極における温度履歴結

3.1.3 乾燥条件の選択

サラミソーセージの属する乾燥食肉製品の乾燥・燻煙条件は「50℃以上、又は 20℃以下」でなければならないと食品衛生法により定められている。（第 1 章 Table 1-3 より）そこで、新製法を用いて、真空通電乾燥を 50℃以上で行った場合と 20℃以下で行った場合どちらがサラミソーセージ製造に適するか検証するため実験を行った。

まず、50℃以上での乾燥を行った結果、以下 Fig. 3-17 のように試料内部の脂が溶け出てしまい、目視でも分かるほど試料内部に穴がぼつぼつと出来てしまった。

次に、20℃以下での乾燥を行った結果、以下 Fig. 3-19 の温度履歴の結果のように減圧下における真空度が弱かったためか、試料温度が 20～30℃までしか温度低下せず、20℃以下まで低下しないため、通電加熱を行うことが出来なかった。低下したとしても長時間 20℃以下の状態にならない場合もあった。そこで、真空度をさらに上げて減圧による蒸発潜熱の効果を狙ったが、現状の装置では限界であり、これ以上真空度を上げることは出来なかった。

そのため、仮に試料の初期含水率を変更し蒸発量を増やした場合、20℃以下に出来るかどうか検証した。今までよりも初期含水率の高い試料を真空通電乾燥に用いた結果、Fig. 3-20 に示すように蒸発潜熱により試料温度を 20℃以下まで低下し、通電加熱を組み合わせることで温度制御を行えたと同時に、食品衛生法の条件も満たすことが出来た。（通電加熱が温度制御を行っているのは約 24 時間辺りまでである。）

よって、現状の装置では真空度をこれ以上上げれないことから、試料からの蒸発量を増やして真空通電乾燥を行った結果、食品衛生法で定められている 20℃以下での乾燥条件を満たすことが出来た。また、試料断面の穴も 50℃以上のものより無くなり、品質においても向上したため、20℃以下での乾燥を用いることとした。



Fig. 3-17 50℃以上での乾燥後試料



Fig. 3-18 20℃以下での乾燥後試料

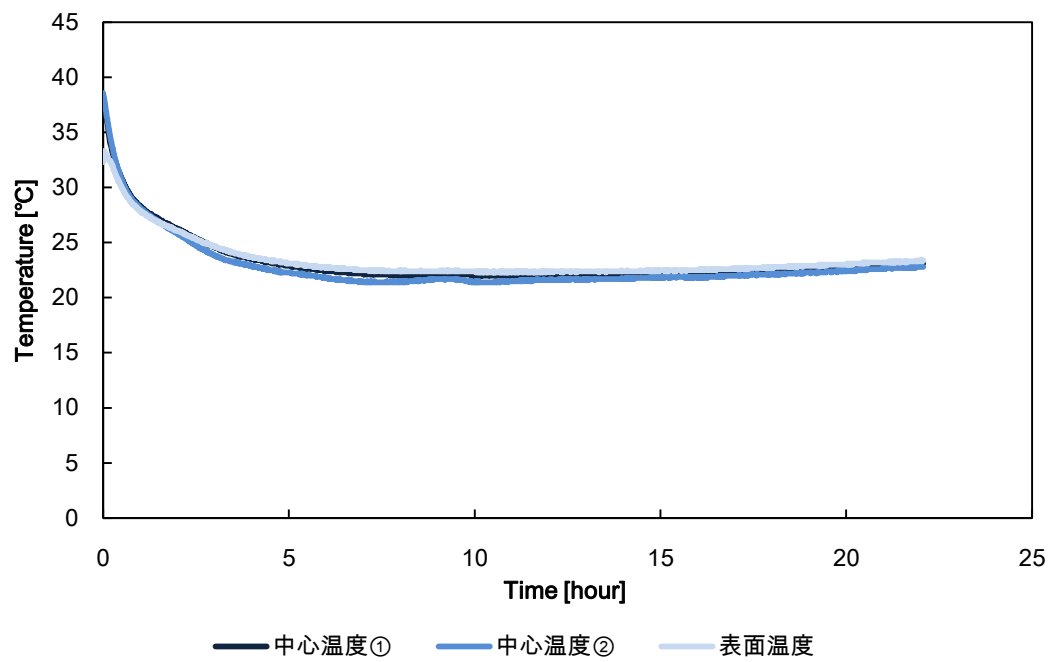


Fig. 3-19 20℃以下での乾燥実験①

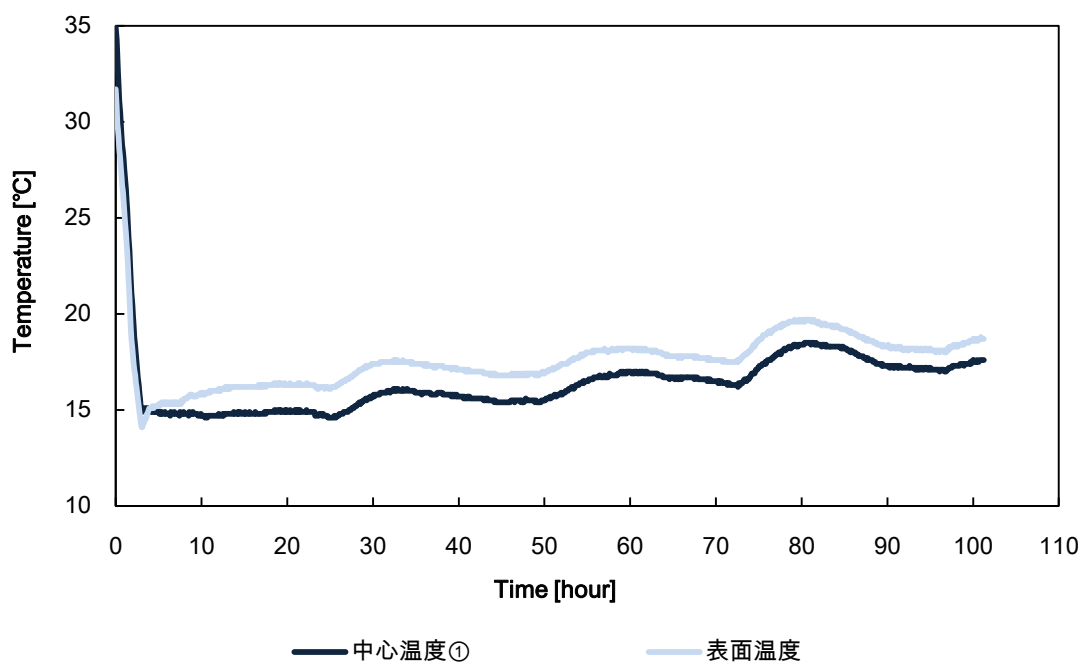


Fig. 3-20 20℃以下での乾燥実験②

3.1.4 通電加熱の効果検証

真空乾燥と通電加熱を組み合わせた真空通電乾燥であるが、この工程において、通電加熱の温度制御は約1日のみとなっている。これより、11日ある通電加熱の通電加熱を組み合わせる必要性が疑問視されると考えられる。しかし、真空のみで乾燥を行い、両者の乾燥での重量減少率変化を比較して、同様の重量減少するまで乾燥させた場合どの程度期間が異なるか検証した。その結果、Fig. 3-21に示すように、重量減少約45%になるまで真空乾燥のみでは約16日要した。それに対して、新製法では約6日で重量減少約45%に達しており、乾燥初期段階における重量変化に差が見られた。これより、通電加熱による温度制御期間は全体の乾燥期間に対して短い、十分な効果があると言える。真空乾燥のみで乾燥した場合よりも真空乾燥に1日通電加熱による温度制御を組み合わせた乾燥の方が迅速な乾燥が出来た。また、両者の温度履歴の結果をFig. 3-22に示す。重量変化と同様に乾燥初期段階が異なった。通電加熱を行った方は中心温度が15℃前後で温度制御されているのに対して、真空乾燥のみの乾燥は蒸発潜熱の影響により4℃近くまで低下し、徐々に上昇していく履歴であった。この温度低下を通電加熱により制御することで乾燥速度を速めることが出来た。

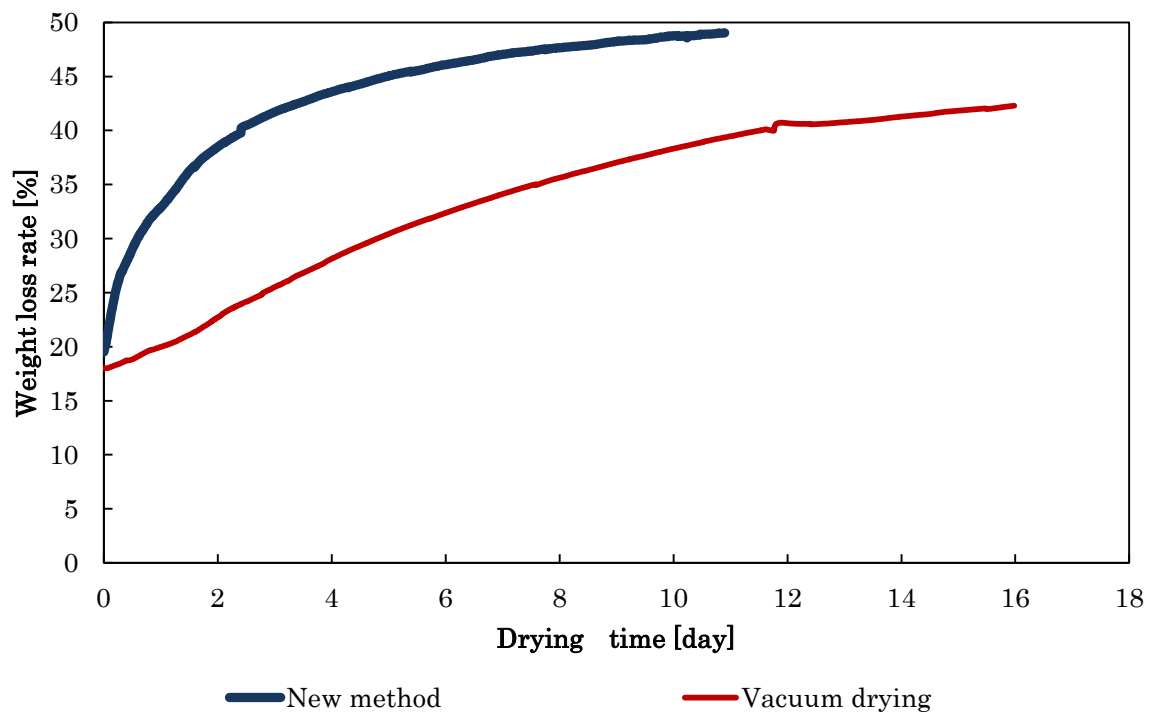


Fig. 3-21 真空乾燥と真空＋通電乾燥の重量減少率変化の比較

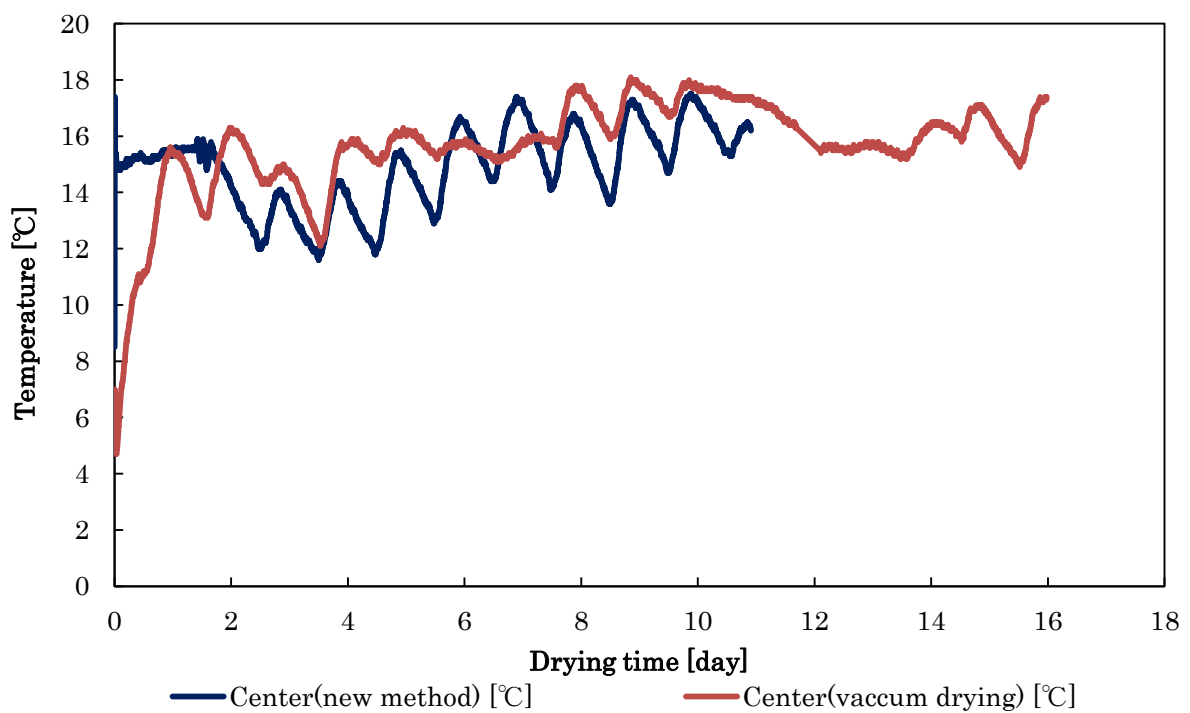


Fig. 3-22 真空乾燥と真空＋通電乾燥の温度履歴結果の比較

3.1.5 急速乾燥後の試料安定操作

真空乾燥と通電加熱を組み合わせた新しい手法での乾燥は、大変急速なため、内部と表面部での乾燥ムラが生じ、中心部分の含水率・水分活性値がサラミ製品規格基準（含水率 35%以下、水分活性値 0.87 以下）を満たすことが出来なかった。しかし、乾燥後、あんじょう工程を取り入れることで、Fig. 3-23, Fig. 3-24 に示すように内部の水分が濃度勾配によって表面に移ることで乾燥ムラを軽減し、規格基準を満たすことが出来た。本研究ではあんじょう操作は、試料をラップ（ポリエチレンフィルム）に密閉し⁽¹⁾、タッパー容器に入れたものを低温恒温槽（5℃）にて3日間放置した。試料をタッパーに入れ、低温恒温槽（5℃）で放置することで、試料内の水分を均質化させ、試料内部のが基準を満たすことを狙った。

結果から Fig. 3-23 のように微量ではあるが含水率は表面が増加し、内部が減少し、あんじょうの効果が見られた。それに対して Fig. 3-24 のように水分活性値は表面も内部も減少し、あんじょうの効果であるかは明確に言えない結果となった。これはあんじょう中水分蒸発を抑えた状態で行ったが、抑え切れていらず、表面部で乾燥が多少進行したためだと考えられる。しかし、含水率、水分活性値どちらの結果においてもあんじょう有りの方が表面肉と内部肉の差が小さいことから、あんじょう工程により水分の均質化を行うことが出来たと考えられる。

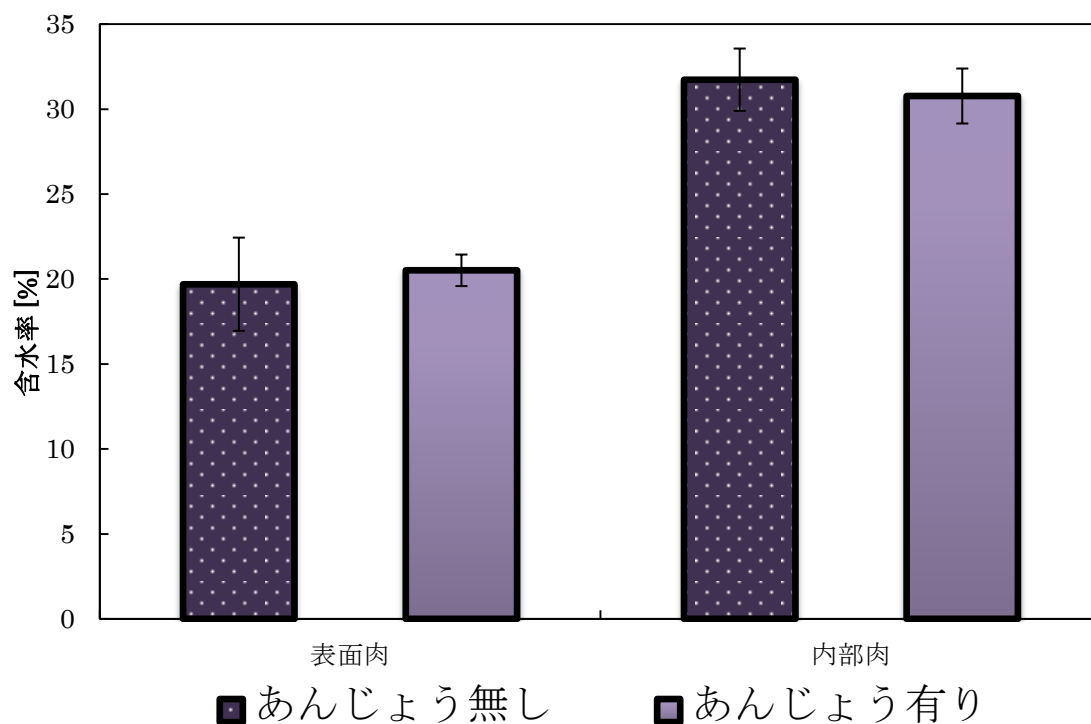


Fig. 3-23 あんじょう処理有り・無しでの含水率の比較 (n=3)

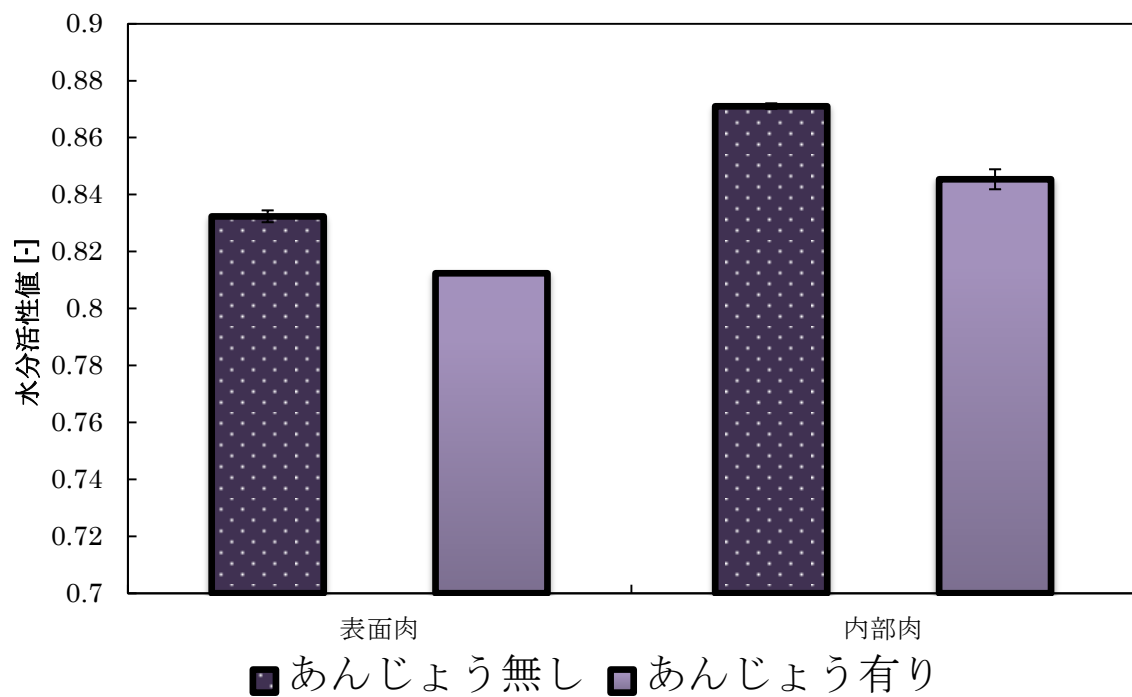


Fig. 3-24 あんじょう処理有り・無しでの水分活性値の比較 (n=3)

参考文献

- (1) 魚肉ソーセージの乾燥工程におけるあん蒸操作と水分移動動特性, 小西靖之 (北海道工技セ), 小林正義 (北見工大), 日本食品科学工学会誌, Vol.46 No.4 Page.205-211 (1999)

第4章 新製法での結果－温度・各品質データ測定－

4.1 新製法における操作

第2章で示したサラミソーセージ製造方法のスモークハウス工程終了後試料において両端の結索部を切断し、両面に電極（剣山・金属製）を挿入し通電加熱を行った。通電加熱の制御温度は16℃（制御箇所：試料中心部分）に設定し、温度測定点は、中心温度、端部温度、表面温度の3点を取った。また、乾燥終了点は標準製法による製造結果データに基づき、ケーシング充填後の試料重量から重量減少約45%に到達した点とした。真空乾燥と通電加熱を組み合わせた乾燥の後、あんじょう工程として、試料をラップ（ポリエチレンフィルム）に密閉し⁽¹⁾、試料をプラスチック容器に入れ、冷蔵庫(5℃)で3日間放置した。

4.2 測定項目

試料温度（中心、端、表面）及び試料重量を経時的に測定した。乾燥後の試料は、収縮率、試料中心部分の表面肉及び内部肉、端部分（電極付近）の表面肉及び内部肉における含水率を減圧加熱乾燥法により、水分活性値をLab Master^{aw}（novasina）により測定した。また、色彩値を色彩計 NF333 簡易型分光色差計（日本電色工業株）により測定し、L-グルタミン酸、粗脂肪含量を定量した。また、乾燥中の重量減少率、半径方向の収縮率、長さ方向の収縮率を経時的に測定した。これらの測定項目をそれぞれ標準製法（冷蔵乾燥）での結果と比較した。

4.3 新製法（真空通電乾燥）に使用した乾燥試料・各測定点

スモークハウス工程終了後試料の両端を切断し、Fig. 4-1, Fig. 4-2, Fig. 4-3 のように剣山型の電極を挿入した。また、両端の切断面からの蒸発を出来る限り抑えるようにケーシング充填に用いたケーシングを Fig. 4-2 のように切断面に貼り付けた後、電極を装着した。

また、実験条件を以下に示す。

- 使用サラミ試料^例…重量：307.56 g, 直径：5.90 cm, 長さ：12.90 cm
- 試料中心温度制御値：16℃
- 温度測定箇所：中心部分、端部分（電極付近）、表面【Fig. 4-4 参照】
- 乾燥終了点：ケーシング充填後の試料から約45%重量減少後（標準製法で製造したサラミから測定結果データに基づく）
- 色彩値測定箇所：Fig. 4-4 の中心部分より、内部肉と表面肉における赤身肉に着目して測定



Fig. 4-1 両端切断後

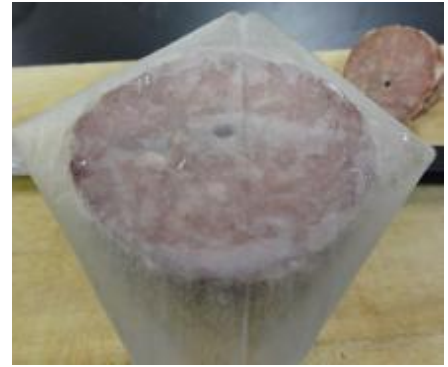


Fig. 4-2 ケーシング処理



Fig. 4-3 電極挿入後

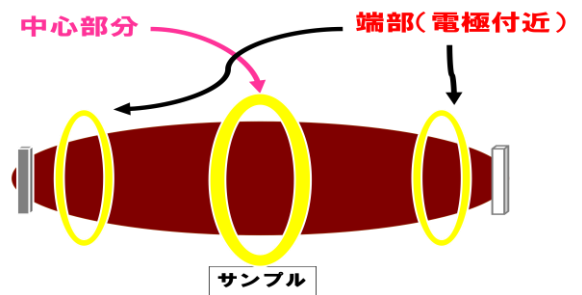


Fig. 4-4 温度測定箇所

4.4 温度履歴・重量経時変化測定結果

4.4.1 新製法における結果①

真空乾燥と通電加熱を組み合わせた乾燥を行った時の温度履歴、重量変化の結果を以下に示す。Fig. 4-5 の横軸は、乾燥時間[days]を、右の縦軸は、スモークハウス工程終了後からの重量減少率[%]を、左の縦軸は、試料温度[℃]をそれぞれ示している。新製法では標準製法と同様にスモークハウス工程で約 20% 乾燥した試料を用い、重量減少率が約 45% になるまで乾燥を行った。乾燥後、あんじょう工程を行った後に乾燥試料の含水率・水分活性値を測定した。その結果、基準値（含水率 35% 以下・水分活性値 0.87 未満）を満たすことが出来なかった【Fig. 4-6】。しかし、Fig. 4-5 より、試料温度（中心、端）はほぼ 20℃ 以下の範囲に入っていることから、食品衛生法でのサラミ乾燥条件の指定温度 50℃ 以上又は 20℃ 以下は満たすことが出来た。

Fig. 4-6 を見ると、含水率・水分活性値ともに基準値である含水率 35% 以下、水分活性値 0.87 未満を満たすことが出来ていない。特に中心部分の内部肉において乾燥が足りないことが分かる。真空通電乾燥は電極装着の際に試料両端を切断しているため、切断部分（電極装着付近）からの乾燥が著しく起こる。そのため、目標重量を減少しても中心部分の水分が乾燥せず、基準を満たせなかったと考えられる。そこで、乾燥期間を重量減少約 45% に到達した 7 日ではなく、さらに乾燥を行う必要があると考え、重量減少約 50% を乾燥終了点とすることとした。

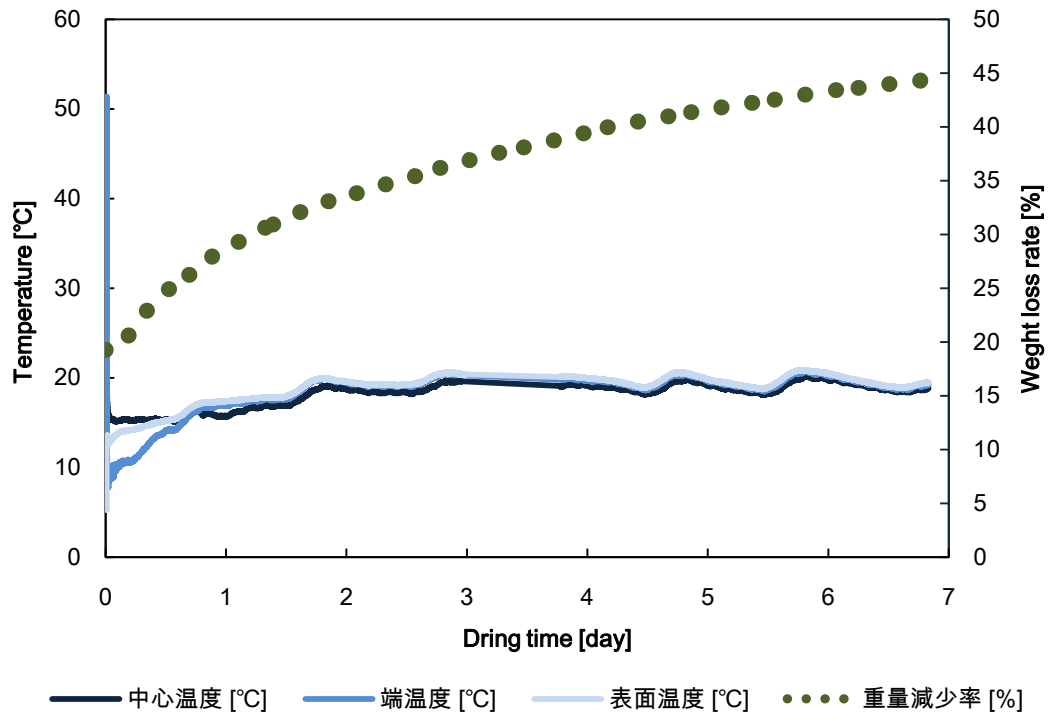


Fig. 4-5 新製法（真空通電乾燥）での温度履歴，重量減少率結果①

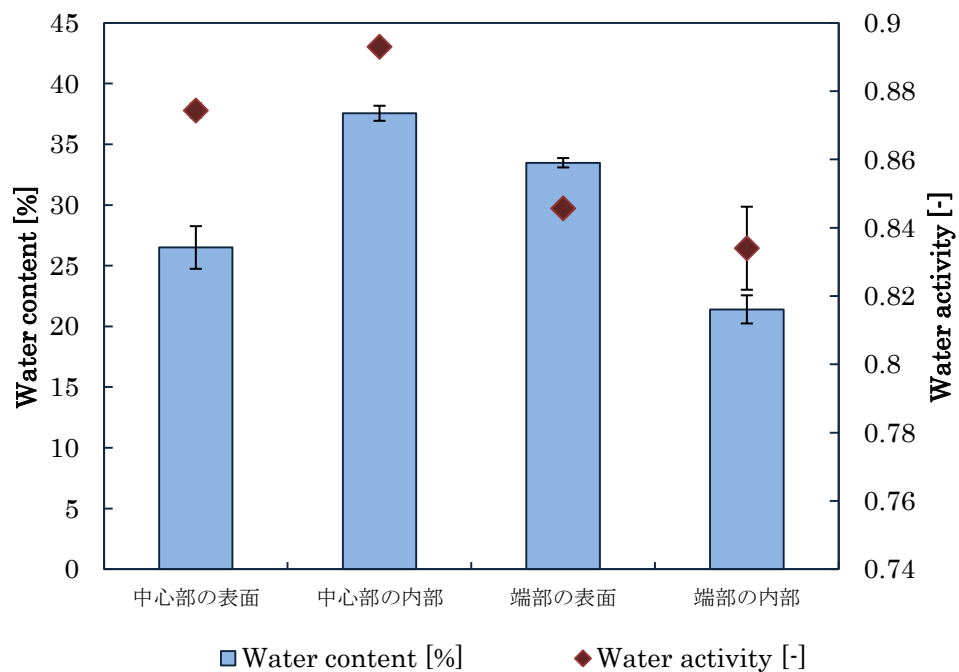


Fig. 4-6 新製法における試料の含水率・水分活性値結果① (n=3)

4.4.2 新製法における結果②

Fig. 4-7 の乾燥条件では乾燥不十分だったため、乾燥終了点を重量減少約 50%に変更した。変更後の乾燥実験による温度履歴、重量減少変化結果を Fig. 4-7 に示す。変更した結果、乾燥期間は約 11 日を要した。乾燥後、あんじょう工程を行い、試料の含水率・水分活性値を測定した結果、両者とも基準を十分に満たせていた【Fig. 4-13】。これより、標準製法の冷蔵乾燥ではなく、新製法の真空通電乾燥を用いる場合には、重量減少を約 50%乾燥させる必要があることが分かった。また、温度履歴結果 Fig. 4-7 より、試料温度（中心、端、表面）は 20℃以下の範囲に入っているため、食品衛生法でのサラミ乾燥条件の指定温度 50℃以上又は 20℃以下を満たすことが出来た。よって、重量減少を増やした結果、製品基準、製造基準をともに満たすことが出来た。

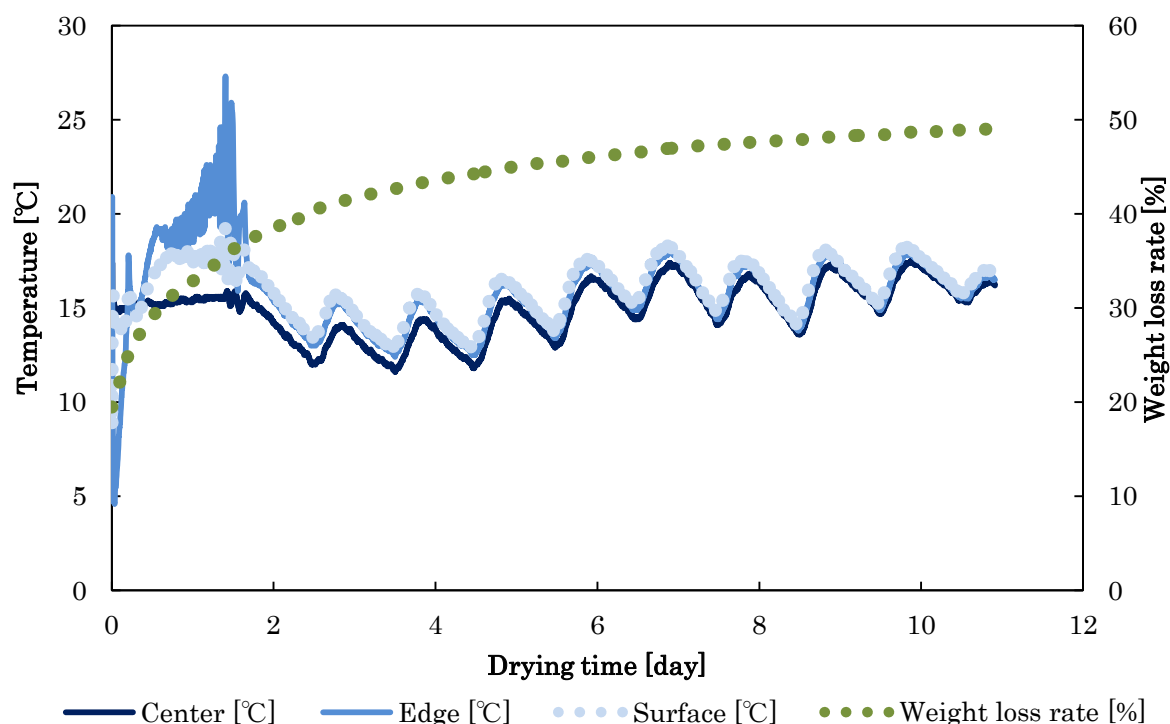


Fig. 4-7 新製法（真空通電乾燥）での温度履歴、重量減少率結果②

4.4.3 標準製法における重量減少変化

標準製法に基づき、スモークハウス工程後、低温恒温槽にて冷蔵乾燥 5℃で試料を乾燥させ、経時的に重量を計測した場合、冷蔵乾燥にて重量減少約 45%を満たすためには約 30 日必要であった。他のサンプルで同様の重量経時測定実験を行ったが、乾燥にほぼ 30 日かかるという結果が得られた。このときの含水率・水分活性値がともに基準を満たすため【Fig. 4-12】この減少率を基準データとした。また、新製法と比較すると、重量減少 45%に達するまで標準製法では約 30 日要するのに対して、新製法では約 7 日で同等量に達することができ、新製法により乾燥期間を大きく短縮することが出来たと言える。

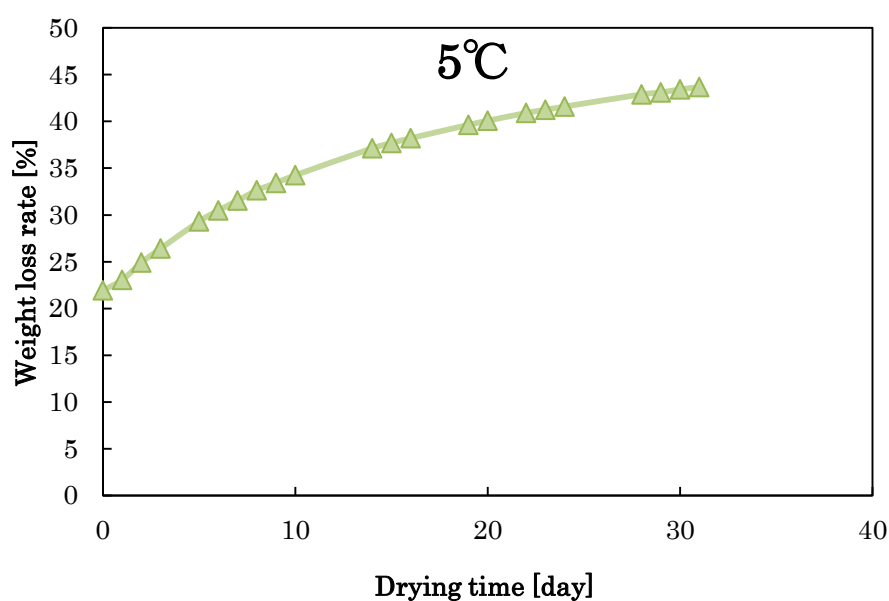


Fig. 4-8 標準製法（冷蔵乾燥 5℃）での重量減少率結果

4.5 含水率・水分活性値結果

4.5.1 測定結果

第1章より、サラミソーセージ（ドライソーセージ）は含水率 35%以下且つ水分活性値が 0.87 未満でなければならないという厳格な基準が定められている。

これを踏まえて、標準製法で製造した 60φ mm ケーシングサイズのサラミ試料を標準製法と新製法で製造し、それぞれ含水率・水分活性値を測定した結果を以下に示す。測定部位は温度履歴を測定した部位と同様に中心部分と端部分（電極付近）とした【Fig. 4-9 参照】。また、比較用としてケーシング充填に用いた混合肉（スモークハウス工程前の試料）の水分データも合わせて掲載する。

含水率は、減圧加熱乾燥法（乾燥前後の重量差）により以下の式を用いて測定し、水分活性値は、水分活性測定器 Lab Master-aw (novasina) Fig. 4-10 を用いてそれぞれ測定した。

その結果、Fig. 4-11 より、乾燥前のケーシング充填肉の含水率は約 60%、水分活性値は約 0.962 という結果が得られた。ここからスモークハウス工程と冷蔵乾燥工程（標準製法）もしくは真空通電乾燥工程（新製法）によって、含水率 35%以下且つ水分活性値が 0.87 未満になるまで乾燥させるため、初期重量から約半分の重量まで乾燥させる必要があることが考えられる。

Fig. 4-12, Fig. 4-13 は、各試料の中心部分・端部分における表面肉・内部肉の含水率、水分活性値を測定した結果である。横軸が測定部位、含水率は棒グラフで左縦軸と対応し、水分活性値はプロットで右縦軸と対応している。

Fig. 4-12, Fig. 4-13 より、標準製法により製造した冷蔵乾燥試料および新製法により製造した真空通電乾燥試料の測定結果は、どちらもサラミソーセージの規格基準である『含水率 35%以下、水分活性値 0.87 未満』を満たした。

真空通電乾燥試料における内部肉は水分活性値 0.87 を下回ることが出来ていなかったが、『あんじょう工程』を行うことによって、濃度勾配に均質化効果で含水率・水分活性値ともに基準を満たすことが出来た。

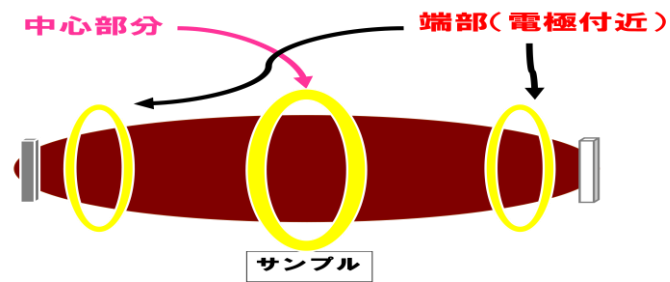


Fig. 4-9 測定箇所

含水率算出式

$$W = \frac{M_0 - M_{dry}}{M_0} \times 100 \quad \dots \text{式(1)}$$

W : 含水率[wet%] M_0 : 初期重量[g]

M_{dry} : 乾燥後試料重量[g]



Fig. 4-10 水分活性値測定器

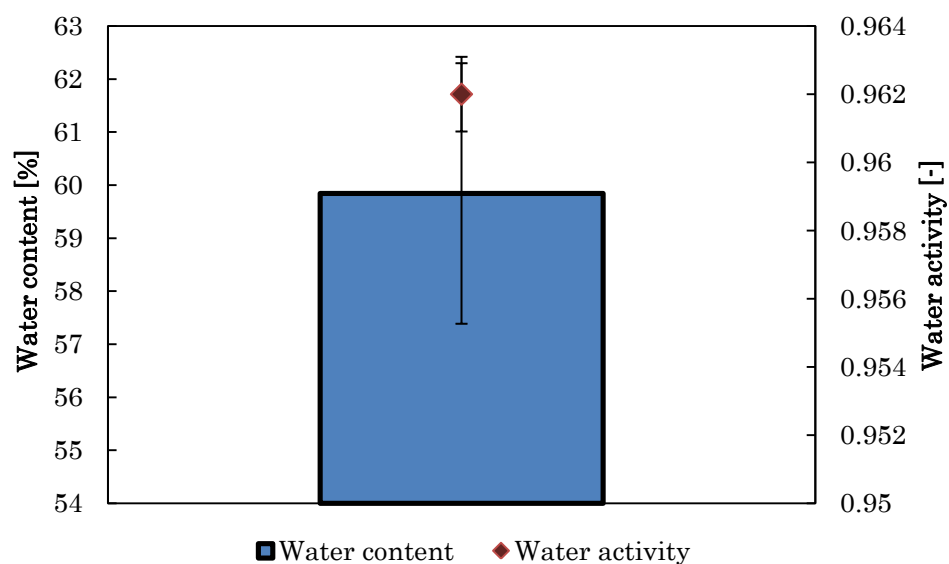


Fig. 4-11 ケーシング充填肉の含水率・水分活性値結果 (n=3)

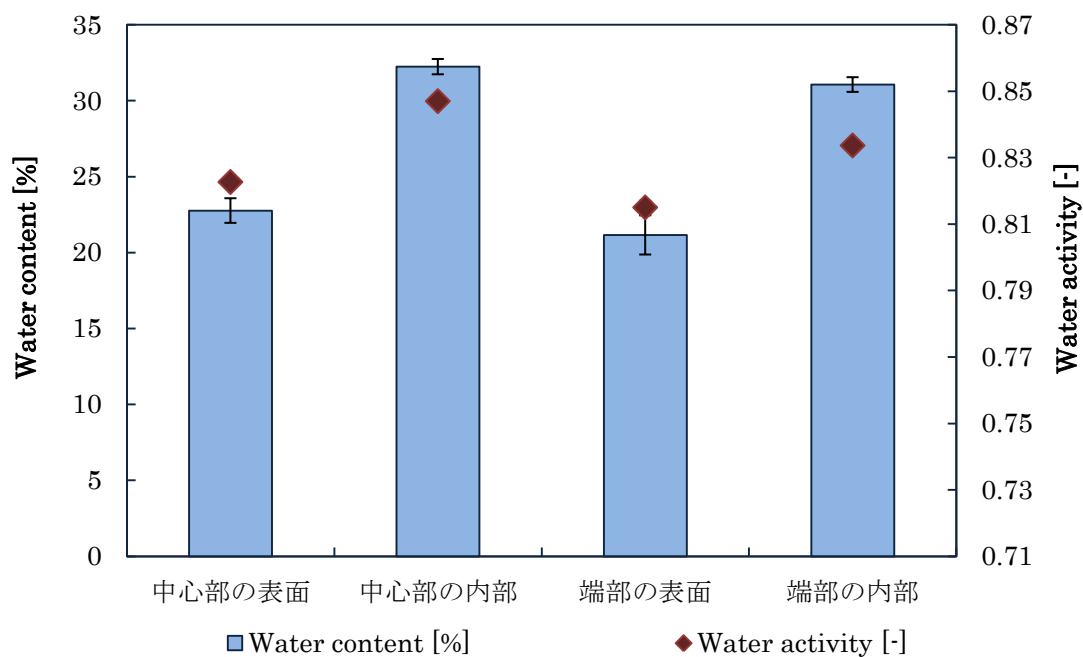


Fig. 4-12 標準製法（冷蔵乾燥 5℃）における試料の含水率，水分活性値結果（n=3）

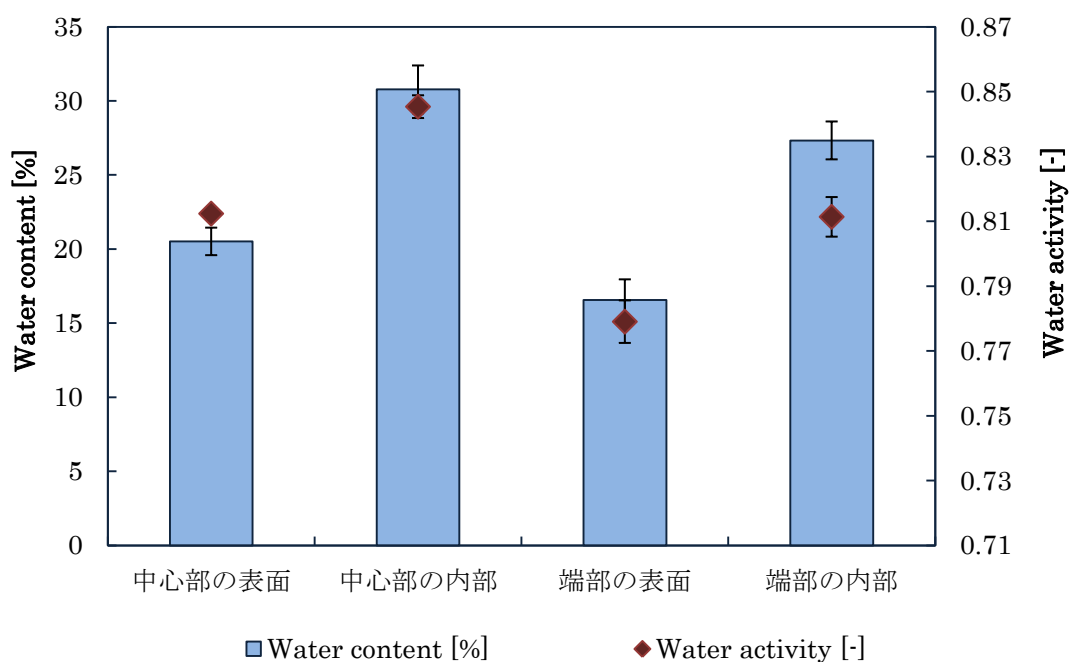


Fig. 4-13 新製法（真空通電乾燥）における試料の含水率，水分活性値結果②（n=3）

4.5.2 冷蔵乾燥工程の温度帯違いによる変化－新製法の乾燥温度帯(20℃)と同様にした場合－

【目的】

標準製法における冷蔵乾燥工程の条件は、ムラを抑えた均一乾燥を行うという目的のもと 5℃での低温恒温槽のみで乾燥操作を行ってきた。しかし、比較とする真空通電乾燥での乾燥温度が約 20℃のため、温度を基準とした比較がし難いと考えられる。そこで、冷蔵乾燥工程を 20℃での条件でも行い、5℃で乾燥した時とどの程度違いが出るか、今後真空通電乾燥品との比較に入れた方が良いか検討した。

【方法】

今まで 5℃の温度条件で使用していた同一の低温恒温槽を 20℃に設定し、スモークハウス内での工程における風乾工程まで終了した試料を恒温槽に入れ、5℃での製造と同様に重量減少率約 45%になるまで乾燥させた。その後、含水率・水分活性値・色彩値を測定した。また、冷蔵乾燥工程中の重量、収縮率変化を経時的に測定した。

【結果・考察】

Fig. 4-14 より、冷蔵乾燥工程を 5℃にした場合は目標重量減少率 45%を満たすために約 30 日必要であったのに対して、20℃では約 20 日で乾燥を終了することが出来るという結果が得られた。この重量経時計測の実験を他の試料でも行ったが、ほとんど同様な結果となった。

また、ある時の庫内湿度を測定した結果、5℃恒温槽：34%・20℃恒温槽：15%という値が得られ、20℃の方が乾燥しやすい環境にあるということが分かる。しかし、今回は湿度設定を考慮せずに行うこととした。また、5℃と 20℃で同様のサラミが製造出来ているのか検証するため、含水率・水分活性値、さらに半径方向の収縮率の比較を行った結果を以下に示す。

Fig. 4-15, Fig. 4-16 より、Aw 値には差は無く、含水率に少し差があるように見られる。特に表面と内部の差（乾燥ムラ）が冷蔵乾燥 20℃の方が大きいことが分かる。そこで、一個体中で測定した含水率の最大値と最小値とでどの程度差があるのか 5℃と 20℃で比較を行った。上記の結果ともう 2 回同様に行った実験結果と平均して算出した。結果を Fig. 4-17 に示す。

測定した結果、一個体中における乾燥ムラは 20℃の方が約 3%大きく、微量な差ではあるが、5℃の方がより均一性の高い試料と言える。

また、半径方向の収縮率を 3 度経時的に測定した結果を Fig. 4-18 の①～③に示す。Fig. 4-18 の真ん中 (②) のグラフを除いて冷蔵乾燥 20℃の場合では試料が収縮しやすい傾向があり、重量減少率の経時変化の結果を踏まえても 20℃の方が乾燥しやすく収縮しやすい状態にあるということが分かる。目標重量減少率は 5℃の場合と 20℃の場合も同様に約 45%としているため、収縮率の最終値にはほとんど差が無いという結果が得られた。

以上の結果から、冷蔵乾燥 5℃と 20℃での大きな違いは含水率の差（乾燥ムラ）と収縮率であり、5℃では 20℃より均一な試料を製造出来るが長時間の乾燥が必要であるのに対して、20℃では 5℃よりも早く製造できるが、乾燥ムラが出てしまう。このように両者にはそれぞれ長所・短所があることが分かった。比較対象をどちらかに統一はせず、均一な試料の指標として冷蔵乾燥 5℃サラミを、温度帯が真空通電と同じ試料の指標として冷蔵乾燥 20℃サラミを比較試料とし、この 2 試料と新製法の真空通電試料の 3 試料を用いて品質評価による比較を行うこととした。

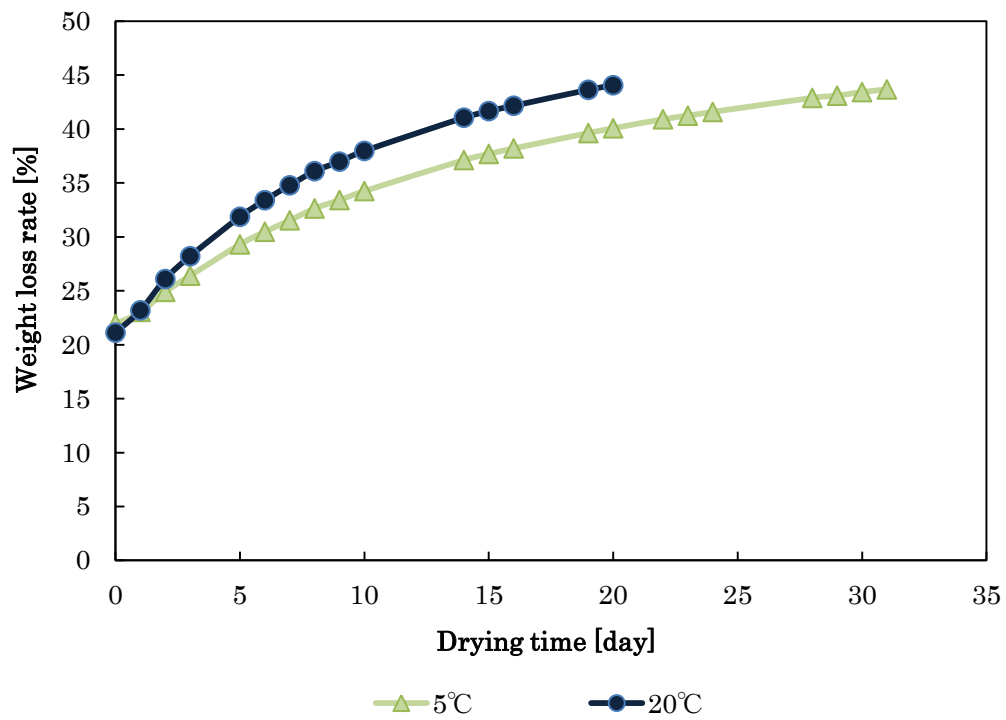


Fig. 4-14 Comparison of a weight loss rate change

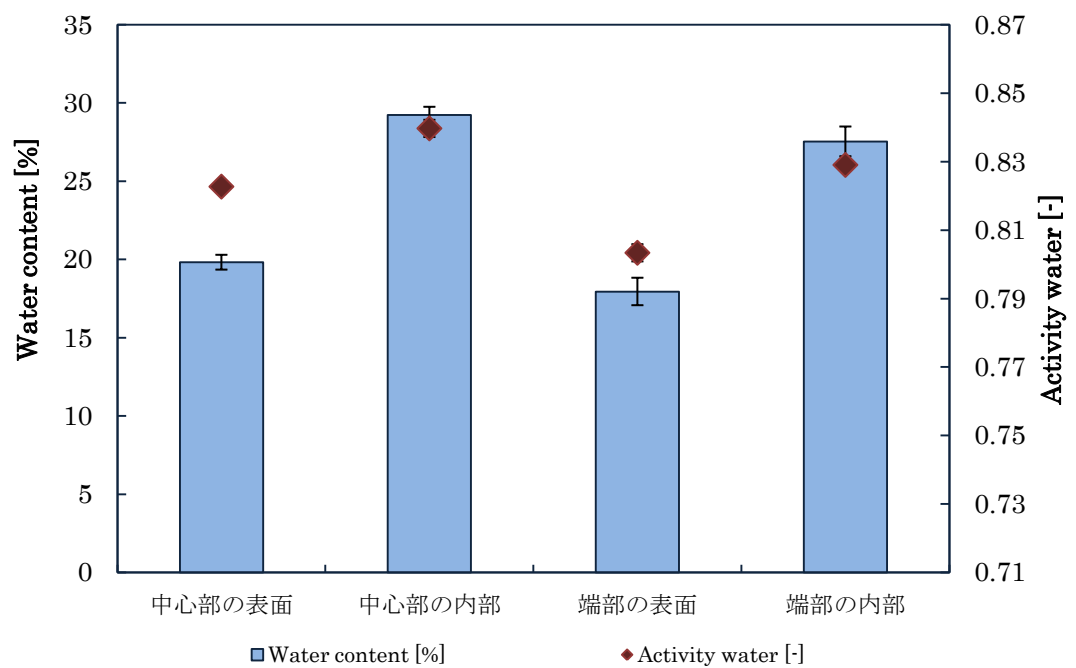


Fig. 4-15 Moisture data (Sample: Refrigeration dryness 5°C) (n=3)

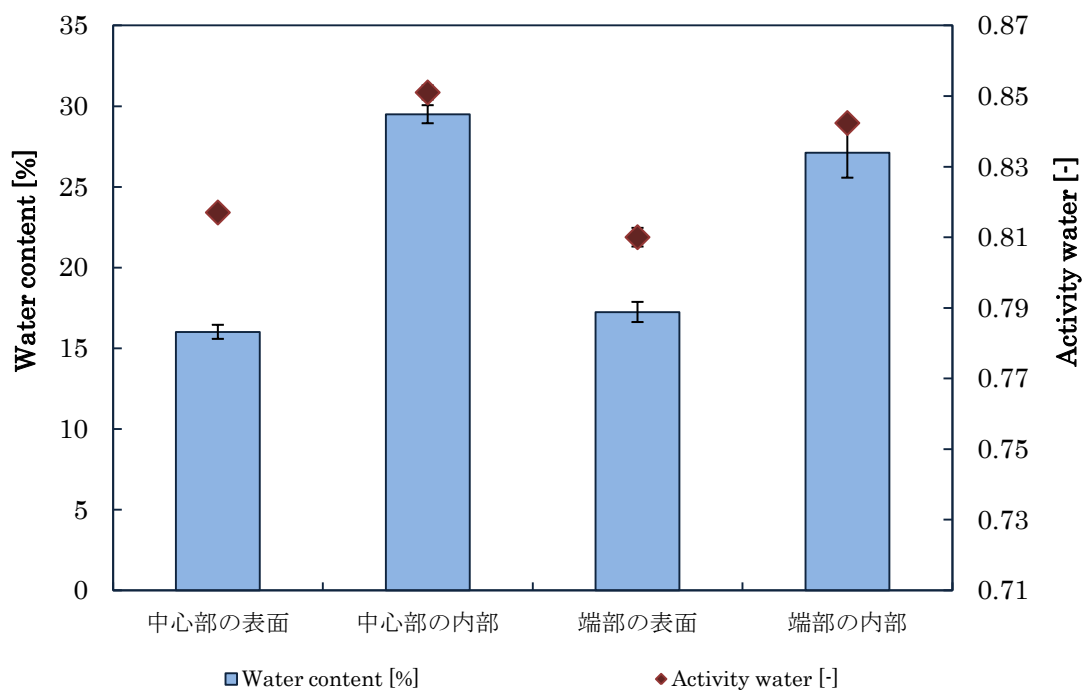


Fig. 4-16 Moisture data (Sample:Refrigeration dryness 20°C) (n=3)

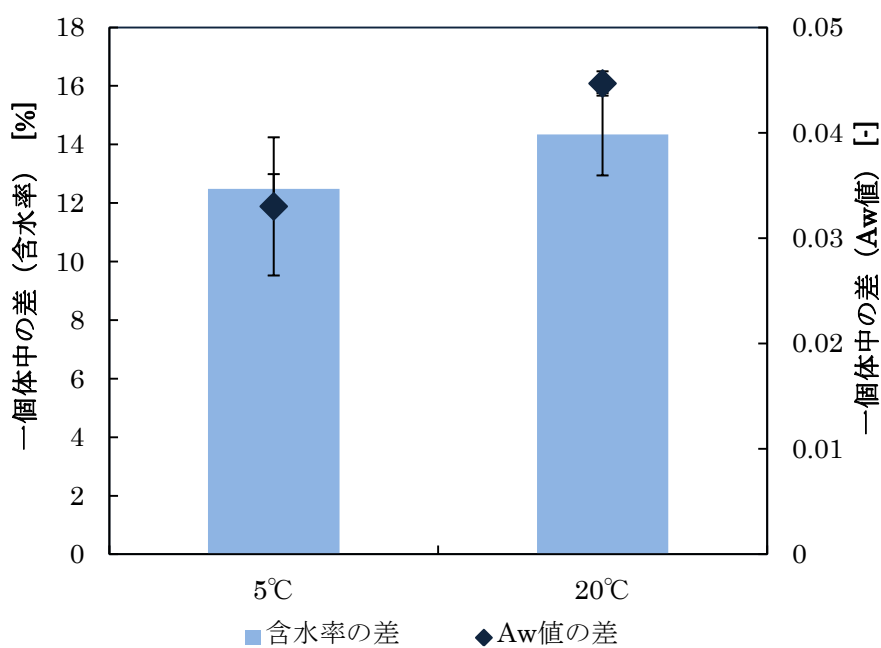


Fig. 4-17 Comparison of the difference by the difference in a temperature zone (n=3)

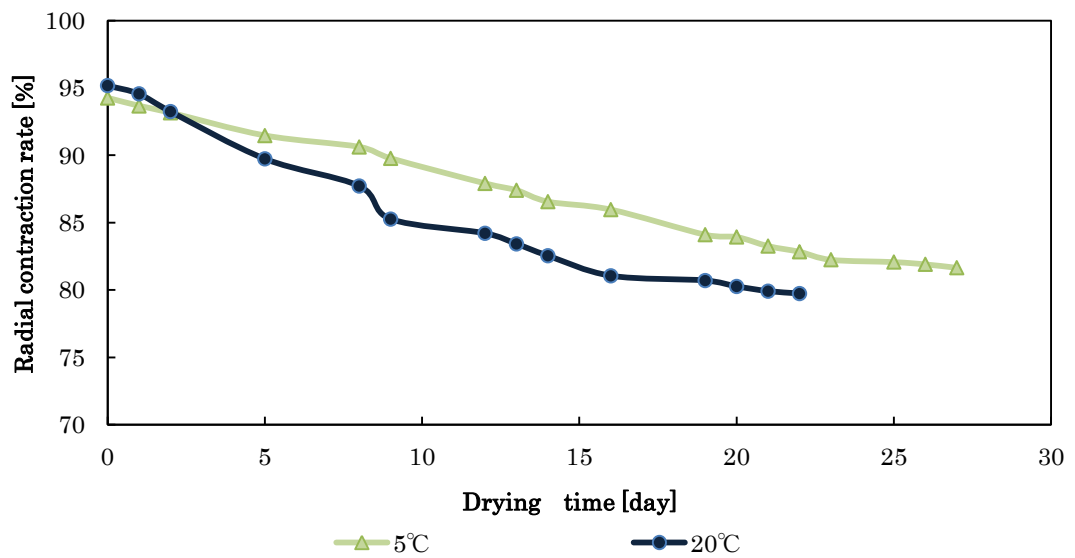
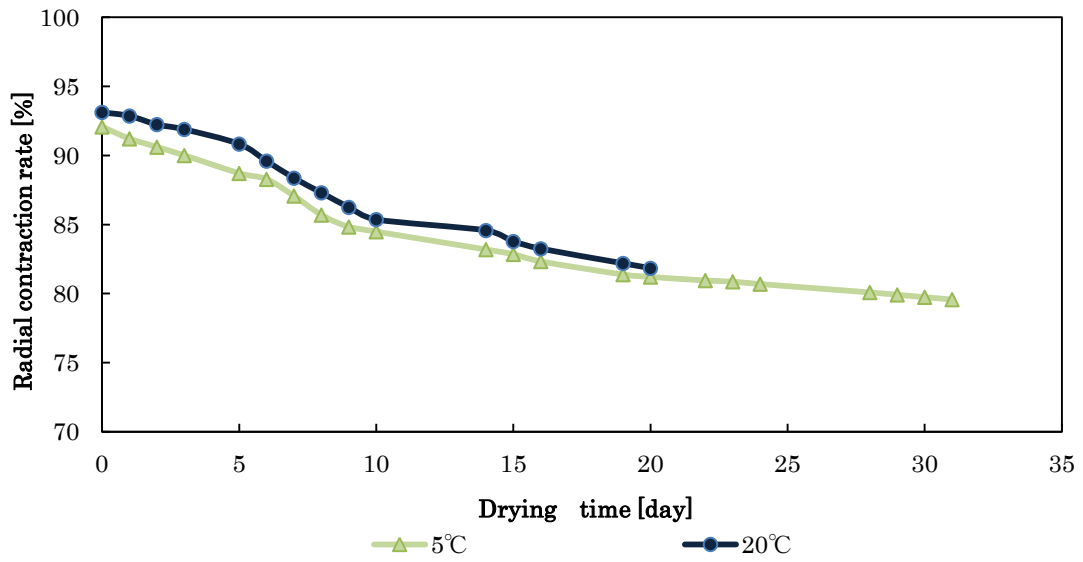
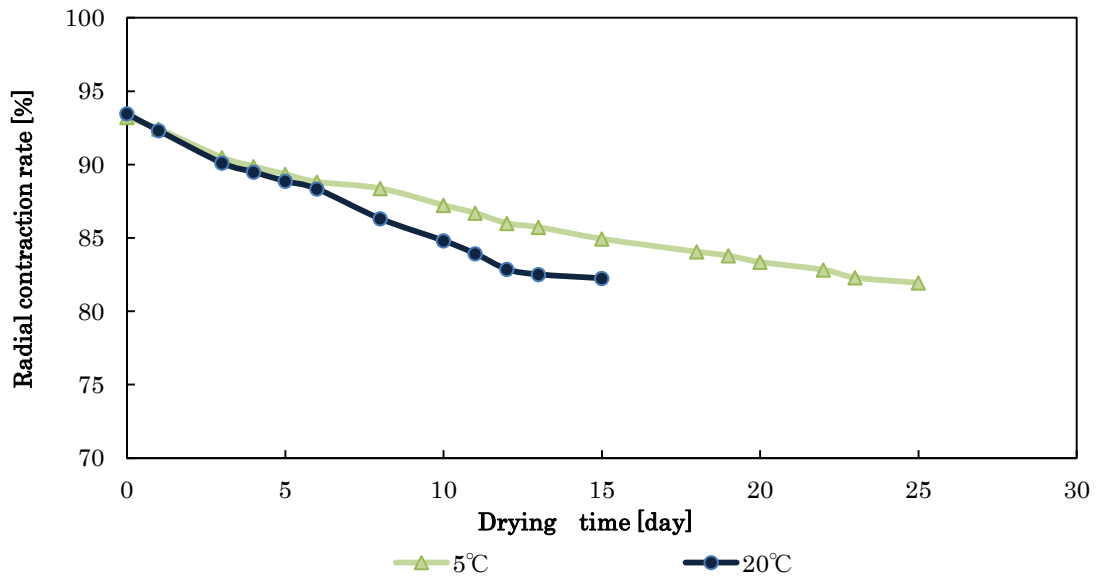


Fig. 4-18 Comparison of contraction rate change ①~③

4.6 新製法における短縮効果

4.6.1 各製法による製造日数の比較

各製法においてもまずスモークハウス内にて、乾燥工程、燻煙工程、蒸煮殺菌工程、風乾工程を行うため、まず 22 時間 30 分要する。次に新製法では、真空通電乾燥工程によって重量減少約 50%になるまで乾燥を行い、この乾燥工程は 11 日要した。乾燥後、試料の水分分布の均質化を目的に、あんじょう工程を 5℃の低温恒温槽にて 3 日行った。これにより、新製法は合計で製造に約 15 日要する。一方で、標準製法はスモークハウス工程後、重量減少約 45%になるまで 5℃の低温恒温槽にて冷蔵乾燥工程を行う。この冷蔵乾燥工程には約 30 日要した。

これより、標準製法は約 31 日で製造できるのに対して、新製法は約 15 日で製造できるため、真空乾燥と通電加熱を組み合わせた新製法により、約 16 日短縮することが出来た。

4.7 色彩値測定

4.7.1 予備実験

【方法】

色彩値・・・色彩計 NF333 簡易型分光色差計（日本電色工業㈱）【Fig. 4-19】を用いて $L^*a^*b^*$ 表色系の値を測定した。測定位置は、中心部分の内部肉（切断面）とケーシングを剥がした後の表面肉において、それぞれ赤身肉部分に着目して測定した。また、測定試料には乾燥 0 日（ケーシング充填肉）と標準製法の冷蔵乾燥 5℃試料、新製法の真空通電乾燥試料を用いた。

また、 $L^*a^*b^*$ 表色系： L^* 値は明るさ(白(+))黒(-)の軸を、 a^* 値は赤(+))緑(-)の軸を、 b^* 値は黄(+))青(-)の軸を示す。

Fig. 4-20, Fig. 4-21 に、それぞれの試料における表面と内部における肉の赤身部分に着目して測定した結果を示す。横軸が使用試料名、縦軸が色彩値を示している。

Fig. 4-20, Fig. 4-21 より、標準製法（冷蔵乾燥）と新製法（真空通電）では赤身肉の色において、新製法の方が少し a^* 値が低く b^* 値が高く見られるが、標準製品との大きな違いは L^* 値という事が分かる。真空通電サラミ試料の表面、内部肉ともに、標準製法と比べて少し L^* 値が高いので、試料肉は明るい（淡い）色をしていることが分かる。

また、冷蔵乾燥 5℃により製造した標準製法サラミと真空通電乾燥により製造した新製法サラミの写真（断面、表面）を Fig. 4-22～Fig. 4-25 に示す。写真からも標準製法と比べて新製法サラミは薄い・淡い色をしていることが分かる。

断面肉、表面肉の赤身色の違い、特に真空通電乾燥試料の断面肉は赤色が薄い・淡いというのは、色彩値測定の L^* 値の違いから考えられるが、 n 数が少ないことから試料によって個体差が出ることが多いため、更なる細かな分析が必要と考え、試料断面肉にのみ着目し、測定点、測定数を増やして実験を行うこととした。



Fig. 4-19 色彩計

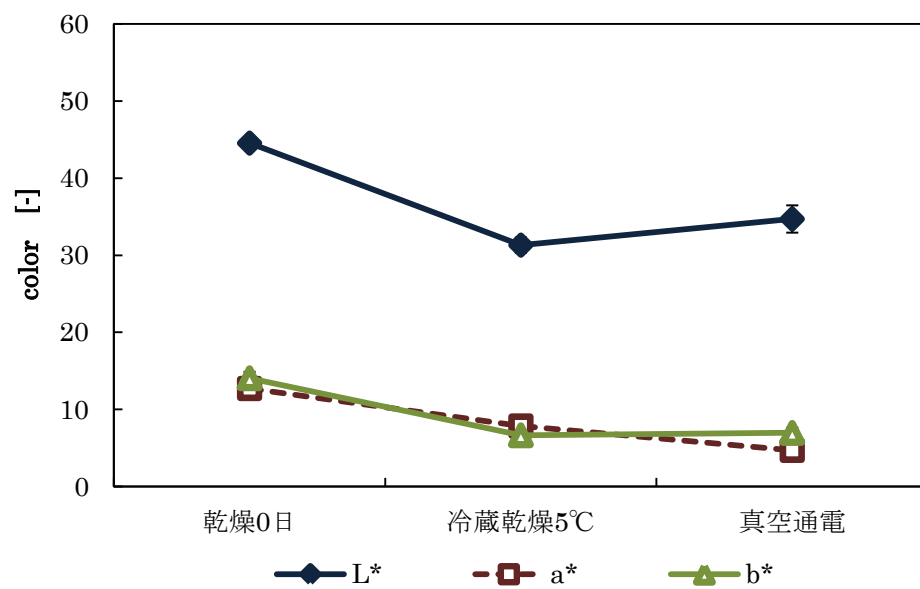


Fig. 4-20 表面肉の色彩値結果 (n=5)

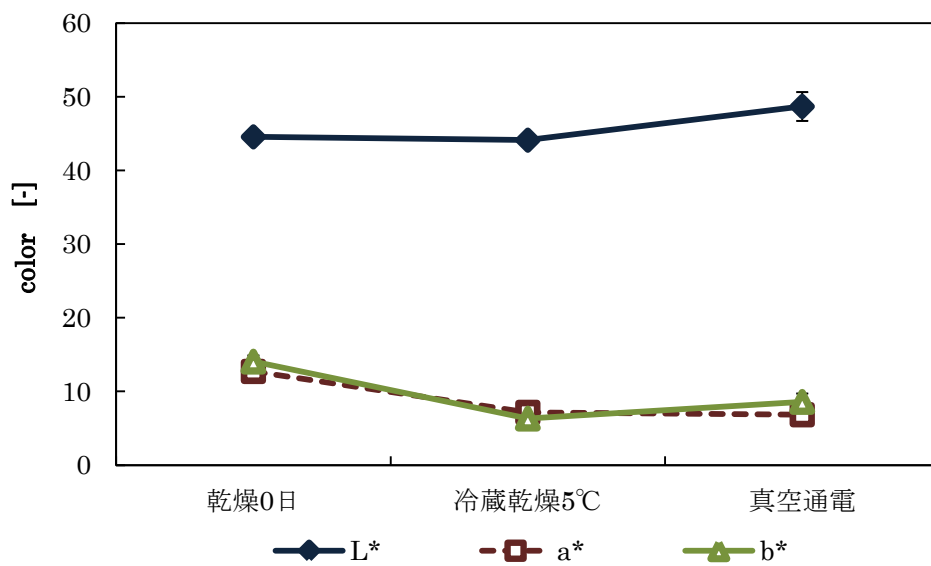


Fig. 4-21 内部肉の色彩値結果 (n=5)



Fig. 4-22 標準製法（冷蔵乾燥 5℃）・断面肉



Fig. 4-23 標準製法（冷蔵乾燥 5℃）・表面肉



Fig. 4-24 新製法（真空通電乾燥）・断面肉



Fig. 4-25 新製法（真空通電乾燥）・表面肉

4.7.2 色彩値－ヒストグラム分析－

【目的】

標準製法サラミと新製法サラミの肉色の違いを測定点，測定数を増やして細かく比較・分析を行うため，Excel のヒストグラム分析によってそれぞれの試料の色彩値の頻度を出し，比較し，両者の $L^* \cdot a^* \cdot b^*$ のどの値が異なるのか，違いの要因として何が考えられるか検討した。

【方法】

試料のケーシングサイズが 60φ mm と大きいため，測定ポイントを Fig. 4-26 のように 1 つの試料切断面に対して 24 点取り，計測した。また，同じ箇所での測定でも値にバラツキが出るため，各点において 5 回ずつ色彩値測定を行った。色彩計の測定スポットは 8φ mm である。そのため，8φ mm の範囲の試料肉色における色彩値が平均され，一つの色彩値データとして得られる。この操作をサラミ一個体中の 5 つの断面に対して同様に行った。また，試料はサラミ一個体の中心部分において厚さ (L) 15 mm になるように切断したものを使用した。この実験を 3 回行い，測定断面は $n=15$ とした。

色彩値測定サンプルは以下のような標準製法試料 (冷蔵乾燥 5℃) 【Fig. 4-27】と新製法試料 (真空通電乾燥) 【Fig. 4-28】を用いた。

また，サラミ試料の切断面は内側・外側で色が異なることが目視で見られたため，円周ごとにおいて比較を行うこととし，Fig. 4-26 の測定点①~⑫を測定部位Ⅰ (表面側の部分)，⑬~⑳を測定部位Ⅱ (間の部分)，㉑~㉔を測定部位Ⅲ (中心部分) として，ヒストグラム分析を行った。また， L^* 値においては，値の分布が幅広いので x 軸を 2 単位刻みにし，分布のある範囲 30~60 の中での頻度を算出するように設定した。 a^* 値， b^* 値は主に一桁の範囲で分布しているため x 軸を 1 単位刻みで，0~12 の中での頻度を算出するように設定した。

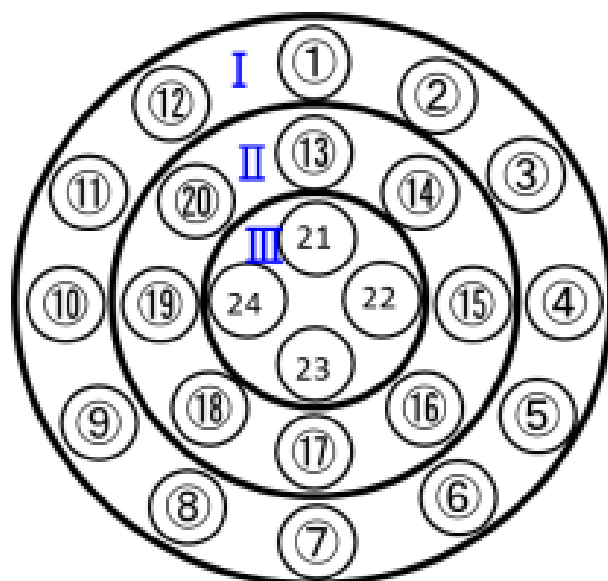


Fig. 4-26 色彩値測定ポイント



Fig. 4-27 標準製法（冷蔵乾燥 5℃）・断面肉



Fig. 4-28 真空通電乾燥・断面肉

【結果】

測定部位：試料全体（①～24）における L^* 、 a^* 、 b^* の頻度比較（ $n=15 \times 12$ point）

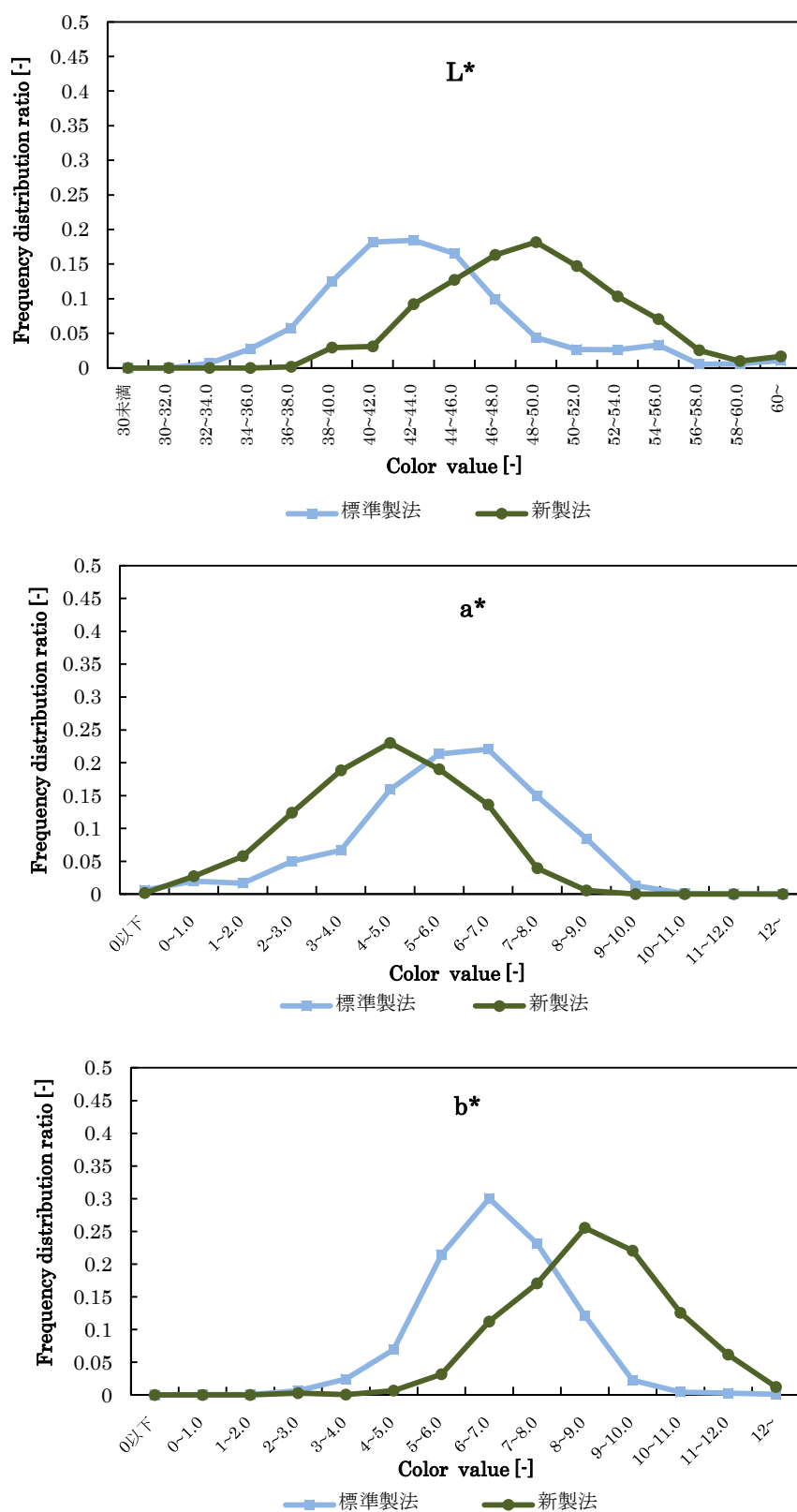


Fig. 4-29 測定部位：試料全体の色彩ヒストグラム比較

【部位ごとに分けて比較した結果】

測定部位 I (①～⑫) における L^* , a^* , b^* の頻度比較 (n=15×12 point)

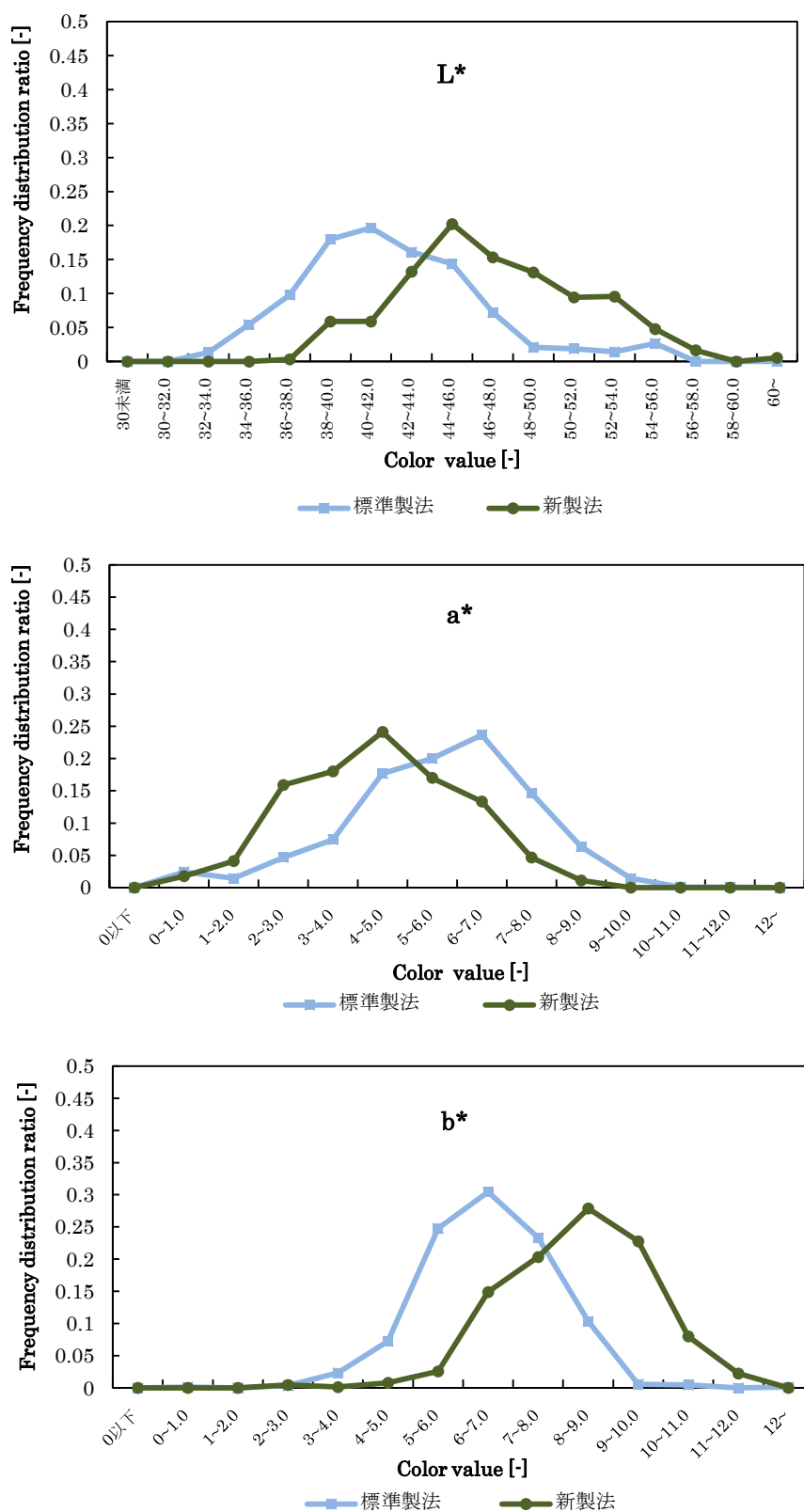


Fig. 4-30 測定部位 I の色彩ヒストグラム比較

測定部位Ⅱ（⑬～⑳）における L^* 、 a^* 、 b^* の頻度比較（ $n=15 \times 8$ point）

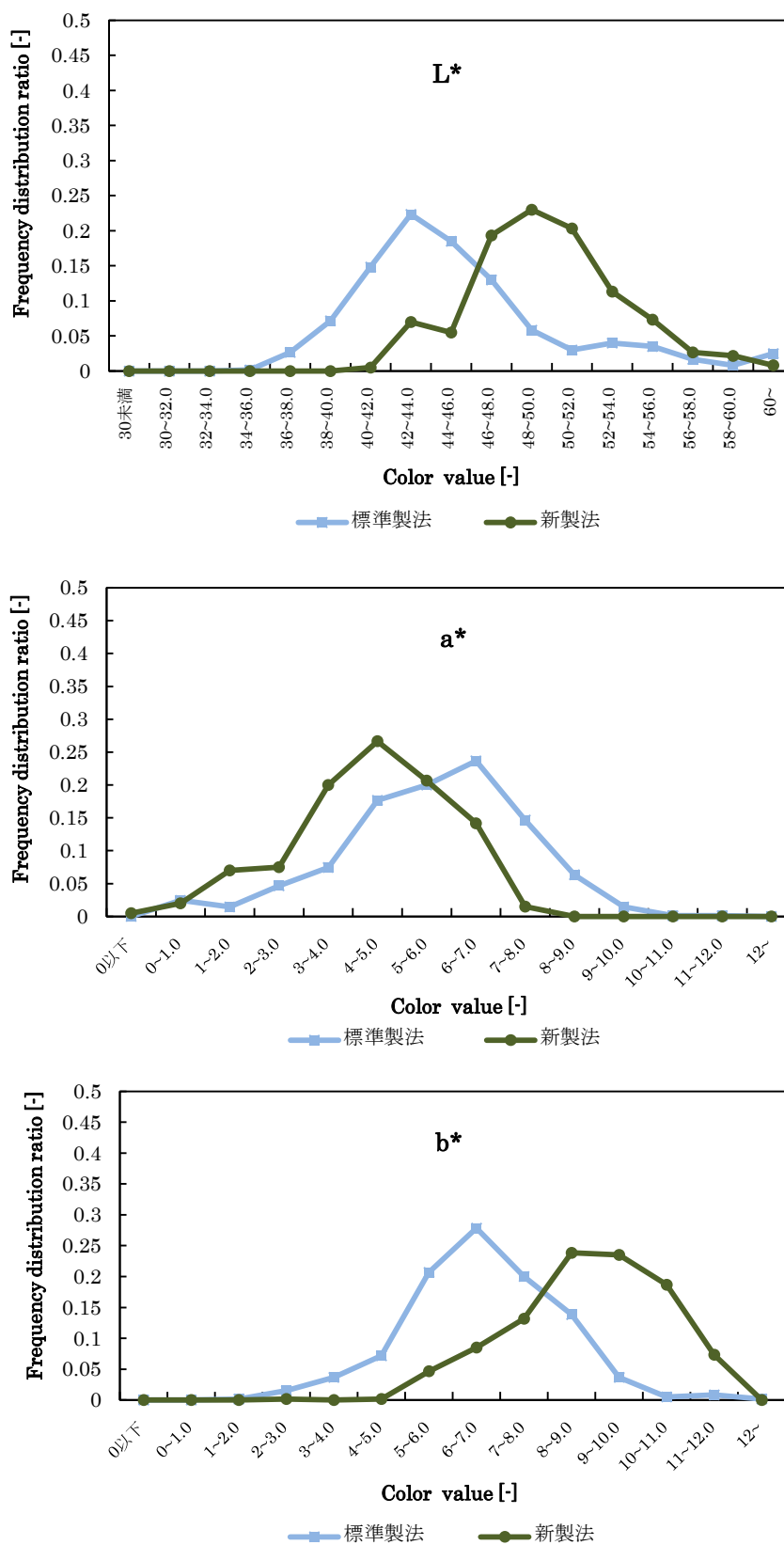


Fig. 4-31 測定部位Ⅱの色彩ヒストグラム比較

測定部位Ⅲ（21～24）におけるL*, a*, b*の頻度比較（n=15×4 point）

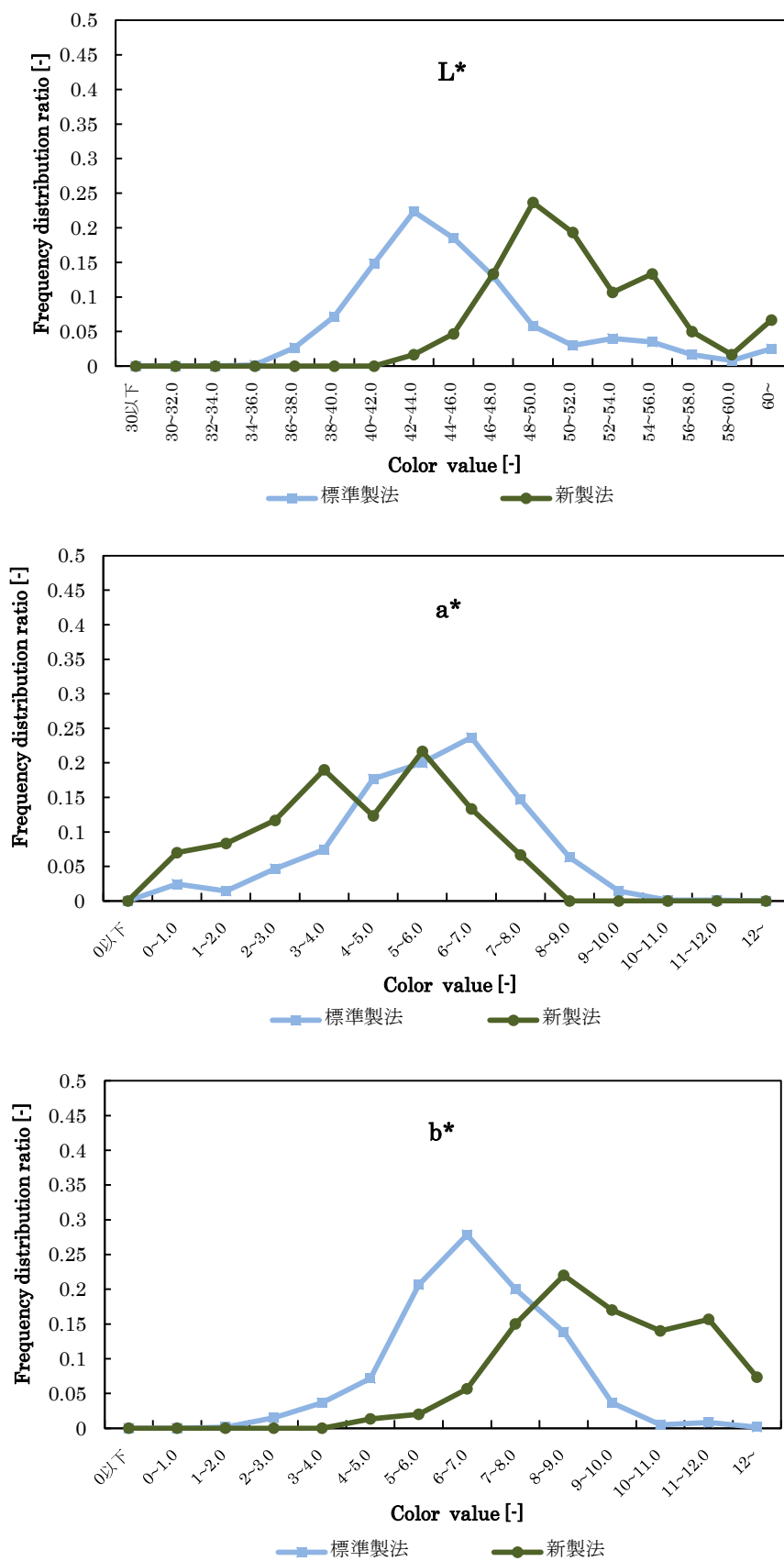


Fig. 4-32 測定部位Ⅲの色彩ヒストグラム比較

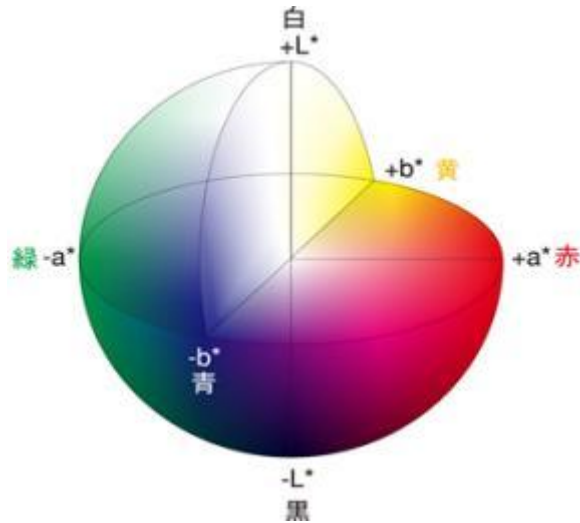


Fig. 4-33 Lab 表色系色相環

【考察】

試料全体 (①～24) における頻度比較により、 L^* ・ a^* ・ b^* においてどの色彩データにおいても標準製法と新製法の頻度ピークは似た傾向を示しており、値だけが横にずれたように見られる。 L^* 値は新製法の方が高い頻度を示し、 a^* 値は標準製法が高く、 b^* 値は新製法が高いという結果が得られた。Fig. 4-33 のように、 L^* 値は白(+)/黒(-)の軸を、 a^* 値は赤(+)/緑(-)の軸を、 b^* 値は黄(+)/青(-)の軸を示しているため、新製法の試料は標準製法の試料と比べて、白色度が強く (淡い色)、赤色が弱く、黄色味が強い色になっていることが考えられる。写真を比較した結果からもそのような色の違いがあることが見られる。この色の違いが生じた理由として肉中における色素たん白質の「酸化反応」が考えられる。酸化反応に関しては、次ページで説明する。

次に、円周上の部位ごとに測定した結果について考察する。測定部位Ⅰ～Ⅲはそれぞれ頻度の分母数が異なるため、多少の違いは生じているのかもしれないが、どの部位も $n=15$ で統一しているため、この結果よりも違いはあまり変わりなく、同様な傾向を示すと考えられる。

結果より、試料全体で頻度比較を行った結果と同様の傾向を示し、新製法は標準製法と比較して、 L^* 値は高く、 a^* 値は低く、 b^* 値は高いという結果が得られた。しかし、そのなかで、新製法の L^* 値において部位Ⅱ、Ⅲは部位Ⅰよりも少し高いピークを示している。部位Ⅰでは 44～46.0 にピークがあるが、部位Ⅱ、Ⅲでは 48～50.0 にピークがあり、これより、新製法品の内側は標準製法品と比べると、外側よりも色が白っぽく、薄く見られることが考えられる。また、新製法の a^* 値においては、部位による大きな違いは見られなかった。新製法の b^* 値においては、部位Ⅱ、Ⅲにおいて 10 以上のピークが部位Ⅰよりも多い結果が得られた。これより、新製法品の内側は標準製法品と比べると、外側よりも色が黄色く見られることが考えられる。よって、新製法品と標準製法品とで色の違いが見られたが、そのなかでも特に内側の部分 (部位Ⅱ、Ⅲ) においては表面側の部位Ⅰよりも異なるという結果が得られた。これらの違いの要因には酸化の進行度が考えられる。

ヒストグラム分析の結果比較によって、新製法品の試料内側の L^* 値、 b^* 値が標準製法品よりも

特に高いということが分かった。この結果は、食材は異なるが、鹿島⁽¹⁾らのユズ果皮を減圧乾燥にかけて色彩値を熱風乾燥と比較した結果と似た傾向を示しており、妥当性のある結果と考えられる。

このように色彩に違いが出た要因としては、肉中の色素タンパクの酸化・還元反応、含水率の違いなどが主に考えられる。新製法品では、⁽²⁾真空下で乾燥することで、乾燥速度は上昇するが、乾燥試料自体が多孔質になるため、表面積が拡大し、酸化による退色・変色が起こりやすい状態にあると考えられる。

また、含水率の面から見ると、乾燥進行に伴い、含水率が先に低くなる外側は多孔質状になっているため、酸化反応の影響を受けやすくなり、酸化が進んだのではないかと考えられる。

ここで、発色剤を添加して製造するハムやソーセージなどの色素たん白質の変化、発色のメカニズムはどのようなものなのか、簡単に説明する。

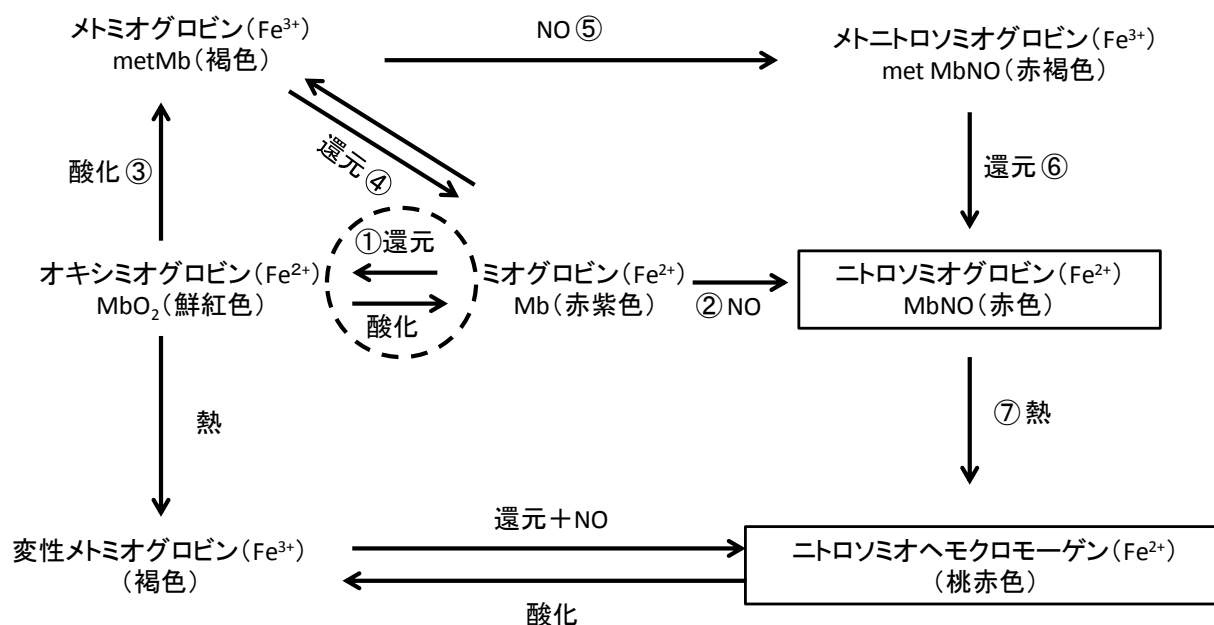


Fig. 4-34 色素たん白質の反応経路と呈色⁽³⁾

⁽³⁾ハムやソーセージの断面は美しいピンク色を呈しているが、これは肉そのものに含まれる色素たん白質が固定され、安定した状態で存在（発色）しているためである。食肉製品の発色はこの色素たん白質（主にミオグロビン（赤紫色)), とりわけその中心になっている鉄原子 (Fe^{+2} , Fe^{+3}) と亜硝酸塩（発色剤）とが反応してニトロソミオグロビン（赤色）を生じ、更にこれが熱変性によって安定したニトロソミオヘモクロモーゲン（桃赤色）となるためである。色素たん白質は酸化・還元反応によって次々に色を変えてゆく【Fig. 4-34 参照】。

このように発色剤を用いることで美しい色を固定することが出来るが、本研究では、発色剤の添加を行わずに標準製法サラミ・新製法サラミを製造しているため、色素たん白質酸化による退色・変色の影響を受けやすい状態となっており、標準製法品と新製法品とで色に違いが出ているのではないかと考えられる。また、本研究の標準・新製法サラミは Fig. 4-34 のどの状態のもの

同様に照らし合わせると、ミオグロビンからオキシミオグロビン（鮮紅色）に酸化したものの状態が標準製法品。オキシミオグロビンからさらに酸化してメトミオグロビン（褐色）になった状態のものが新製法品ではないかと考えられる。

また、色彩値を測定したサンプルをそのまま放置した後、写真を撮影すると、【以下 Fig. 4-35】のように酸化した色（褐色）になっていた。このように、発色剤添加無しでは発色は不安定な状態にあり、発色剤を添加すれば、安定した色にすることができ、標準品・新製法品両者を同様な色にできると考えられる。

しかし、全体的に酸化の影響を受けて褐色に近い値となっていれば、L*値も b*値も低いという結果が得られるはずである。しかし、今回高い値を示したため、真空下での乾燥の効果により酸化反応の影響を少ししか受けていないと考えられる。この現象に関しては、今後の課題とする。また、酸化反応の指標として、ミオグロビン定量も今後必要と考えられる。



Fig. 4-35 酸化後の試料写真

【肉色の違いについて⁽⁴⁾】

標準製法と新製法とで色の違いが出たが、それは酸化反応によるものと考えられ、肉中のミオグロビン量に影響していると考えられる。ミオグロビン量の減少は乾燥温度帯によっても変化する。⁽⁴⁾ 以下 Fig. 4-36 は文献より、豚肉を 80℃になるまで 90℃で 10 分加熱し、1 cm³の立方体に成形したものを試料とし、低温真空乾燥及び凍結乾燥をそれぞれ 5,20,30,45℃各温度帯で行った場合の豚肉中に含まれるミオグロビン量変化を示した。

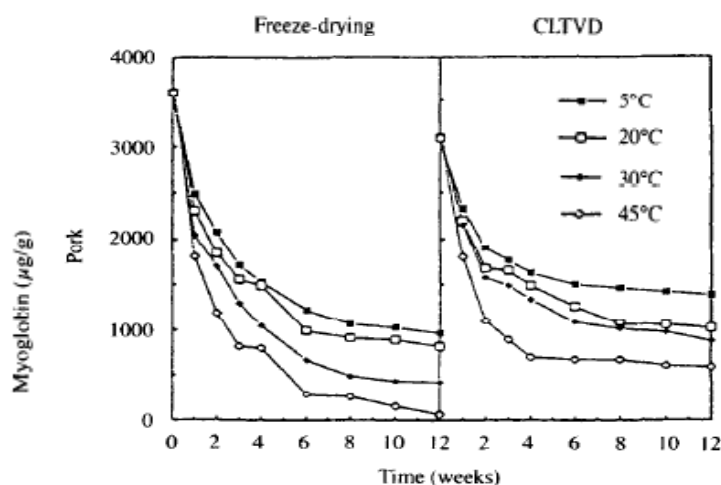


Fig.4-36 Changes of the myoglobin content for dehydrated pork during storage at different storage temperatures. ⁽⁴⁾

(4) Oxidation of Controlled Low-temperature Vacuum Dehydrated and Freeze-dried Beef and Pork. (, KING V A-E, CHEN J-F (National Chung-Hsing Univ., Taichung, TWN), Meat Sci, Vol.48 No.1/2 Page.11-19 (1998)

※ミオグロビン量測定法：ぶつ切りにしたサンプル(2.5g)を 60 分間、4℃で 25 ml のリン酸ナトリウム(0.04 M、pH 6.8)で抽出し、遠心分離後に、525 と 700 nm での吸光度を測定した。そして、ミオグロビン量は以下の式⁽⁴⁾(Krzywicki, 1979)によって計算した。

ミオグロビン量: $x = 2.375(1 - a_2) \quad a_2 = (A_{473} - A_{730}) / (A_{525} - A_{730}) \cdots A_{473}$: 吸収スペクトルから 473 nm での吸光度

Fig. 4-36 から、低温真空乾燥及び凍結乾燥ではどちらも温度が高くなるとミオグロビンが減少するという結果が得られた。ミオグロビンが減少することは、酸化して、メトミオグロビン（褐色化）になっていることが考えられ、温度が高いと酸化が起こりやすい状態ということが言える。よって、標準製法（冷蔵乾燥 5℃）と新製法（真空通電乾燥 20℃付近）での色の違いは、異なる乾燥温度帯による酸化進行も影響しているのではないかと考えられる。もし新製法でも 5℃での乾燥が可能になれば、乾燥に時間はかかるかもしれないが、標準製法のような肉色に近づける事が出来るかもしれない。

また、色彩値測定を標準製法における冷蔵乾燥 5℃と新製法と同様の乾燥温度帯となる冷蔵乾燥 20℃で製造したサンプル切断面に対しても行い、断面全体に対するヒストグラム分析によって比較した【Fig. 4-37 (n=15×24point)】。Fig. 4-37 の結果より、b*値において多少の違いが生じたものの L*値、a*値、b*値それぞれ同様の傾向を示し、新製法（真空通電乾燥）との違いよりも大きな違いが見られないため、冷蔵乾燥において 5℃と 20℃での乾燥温度の違いは色彩にほとんど影響を与えないということが考えられる。

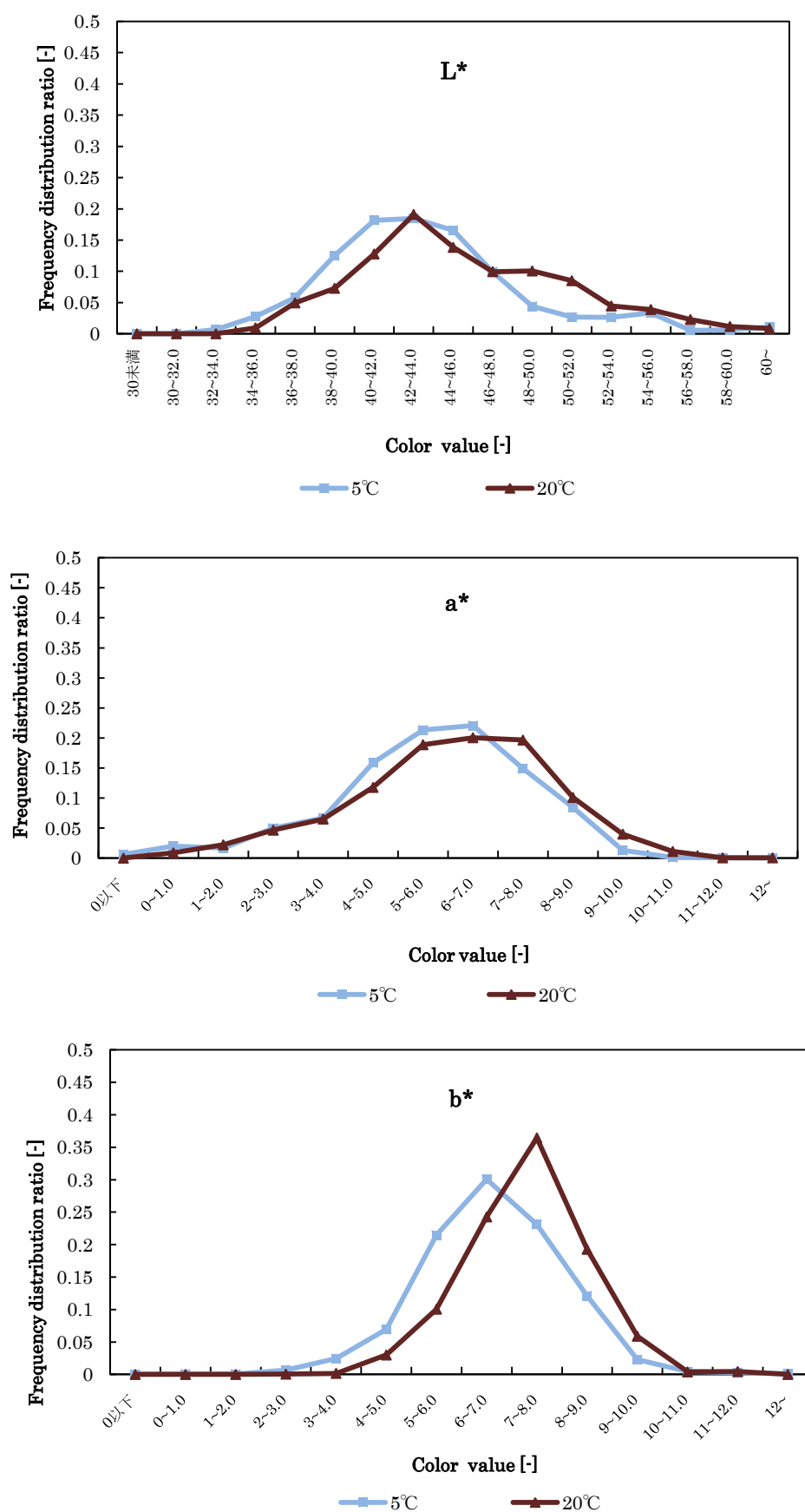


Fig. 4-37 Comparison of color (L*,a*,b*) (n=15×24 point)

4.8 収縮率測定

収縮率変化による比較を行った。収縮率は、ノギス・定規を用いて、半径方向の収縮率[%]は直径を測定した値から算出し、長さ方向の収縮率[%]は直径とは垂直方向に定規を当て測定した値から算出した。計算に用いた式を以下に示す。測定試料は標準製法（5℃・20℃）、新製法の3つとした。

新製法（真空通電）と標準製法（冷蔵乾燥）で試料を同程度の重量減少（※標準製法は約45%・新製法は約50%）を乾燥させた場合、収縮率は異なる傾向を示した。Fig. 4-38より、新製法では標準製法と比べて半径方向の収縮はほとんど変わらなかったが、長さ方向の収縮は大きく異なるという結果が得られた。これはそれぞれの乾燥時の試料状態に起因していると考えられる。標準製法では恒温槽内で吊るして乾燥しているのに対し、新製法の真空通電乾燥では経時的に重量を測定するため、重量計の上に横に寝かせて乾燥させており、乾燥が起こりやすい方向性が異なると考えられる。また、新製法は両端を切断して、剣山を挿入して乾燥を行っていることも影響していると考えられる。

$$\text{収縮率}[\%](\text{半径方向}) = 100 - \left(\frac{A_0 - A_{\text{dry}}}{A_0} \times 100 \right) \cdots \text{式(2)}$$

A_0 : 各乾燥前の試料半径[cm]

A_{dry} : 各乾燥後の試料半径[cm]

$$\text{収縮率}[\%](\text{長さ方向}) = 100 - \left(\frac{B_0 - B_{\text{dry}}}{B_0} \times 100 \right) \cdots \text{式(3)}$$

B_0 : 各乾燥前の試料長さ[cm]

B_{dry} : 各乾燥後の試料長さ[cm]

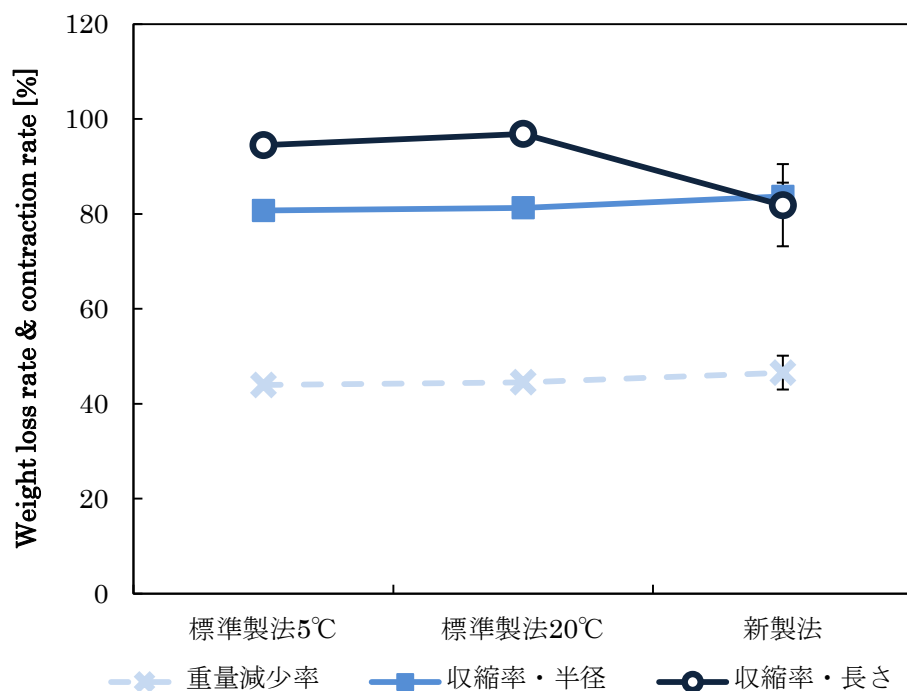


Fig. 4-38 標準製法（冷蔵乾燥）と真空通電との重量減少率・収縮率（半径，長さ方向）[%]の比較（n=3）

4.9 グルタミン酸定量

4.9.1 L-グルタミン酸再度定量実験①

サラミソーセージなどの乾燥食肉は乾燥進行に伴いうま味が増すと言われている。そのうま味の代表的なものとしてグルタミン酸を指標とし、標準品と真空通電品とでどの程度生成量が異なるか定量実験を行い、比較した。ヤマサ(株)製の『ヤマサ L-グルタミン酸測定キットⅡ』を用いて、定量実験を行った。

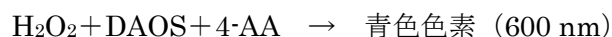
【測定原理】

L-グルタミン酸オキシダーゼの酸化反応で L-グルタミン酸より産生された過酸化水素と、4 アミノアンチピリン (4-AA) 及び DAOS にパーオキシダーゼを反応させることにより、青色色素を生成させる。ついで、この色素量を比色定量することにより、L-グルタミン酸量を求める。

① L-グルタミン酸オキシダーゼの酸化反応



② パーオキシダーゼによる青色色素形成



【試料の調製方法】

サラミ試料を細断して、10 倍量の精製水を加えホモジナイズを行った。その後、ろ過を行い、上清を検体試料液とした。また、測定キット内に付属されている発色試薬、L-グルタミン標準液を用いて標準液、発色試薬盲検、検体盲検を調製した。各試験管をよく振って反応を開始し、常温で 20 分間放置後精製水を対照として、600 nm の吸光度を測定し、以下の式 Eq(1)により L-グルタミン酸濃度を算出した。

【L-グルタミン酸濃度の算出】

試料中の L-グルタミン酸の濃度は下記の計算式により求めた。

L-グルタミン酸(mg/L)=

(検体試料・検体盲検・発色試薬盲検) / (標準液・発色試薬盲検) × 100 × 希釈倍率 …式(4)

【L-グルタミン酸定量結果】

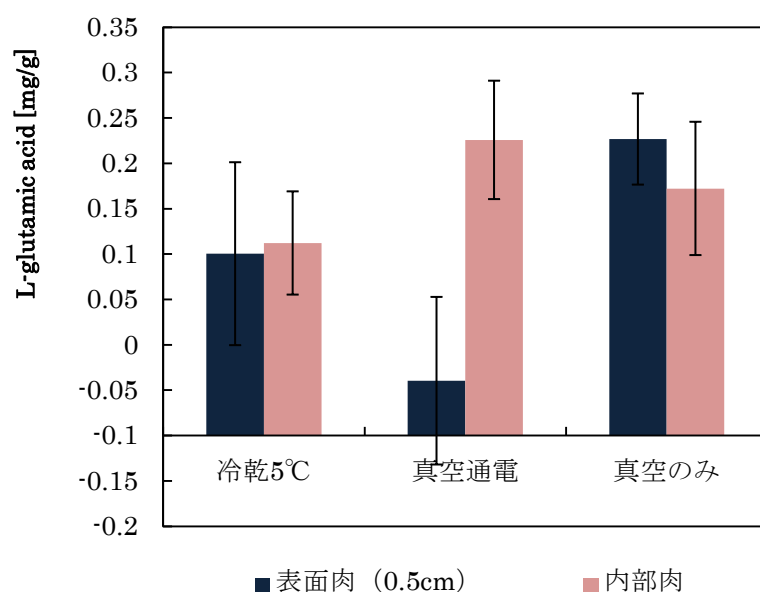


Fig. 4-39 L-グルタミン酸定量結果の比較 (n=3)

試料は標準製法の冷蔵乾燥 5℃サラミ，新製法の真空通電乾燥サラミを用いた．試料抽出をキットの説明通りろ過で行ったが，真空通電乾燥サラミではマイナスの値となってしまう，定量がうまく出来なかった．そこで，同様にサラミソーセージを対象としたグルタミン酸定量を行っているものではどの程度定量出来ているのか確認した．

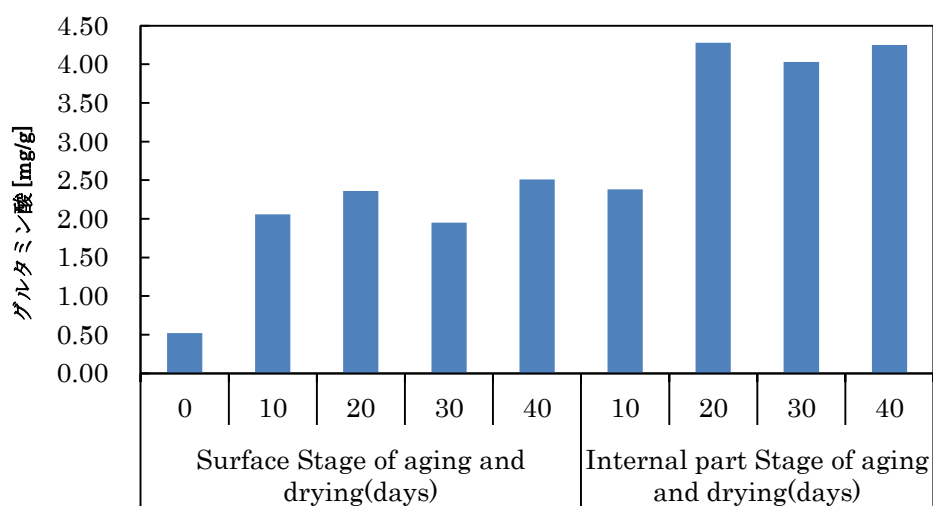


Fig. 4-40 加熱工程無しの乾燥進行におけるグルタミン酸定量結果⁽⁵⁾

Fig. 4-40 は試料調製後，高速液体クロマトグラフィーを用いて同定，定量した文献の結果である．乾燥期間が 20 日経つと中心部肉のグルタミン酸量は閾値まで増加し，表面部肉では 10 日ほどで閾値に辿りついていることが分かる．

しかし，この文献で定量に用いているサラミ試料の製造方法は以下 Fig. 4-41 に示すものとなっており，加熱を行わずに低温（約 20℃付近）で全乾燥工程を行っており，加熱変性を起こさない

製造法となっている．本研究で行っている製造工程ではスモークハウス庫内を 73℃まで加熱し，中心温度を 70℃付近まで上昇させているので，文献の結果と一概に比較は出来ない．しかし，加熱工程を行わずに乾燥を進行させたサラミ試料ではグルタミン酸が 2.0～4.0[mg/g]程度生成していることから，加熱工程を行わなければ，ある程度まで生成することが分かった．

そこで，加熱工程のあるサラミ試料では生成量は少ないと仮定して，正確な定量を行うため，試料の抽出法を少し変えて，定量実験を再度行うこととした．

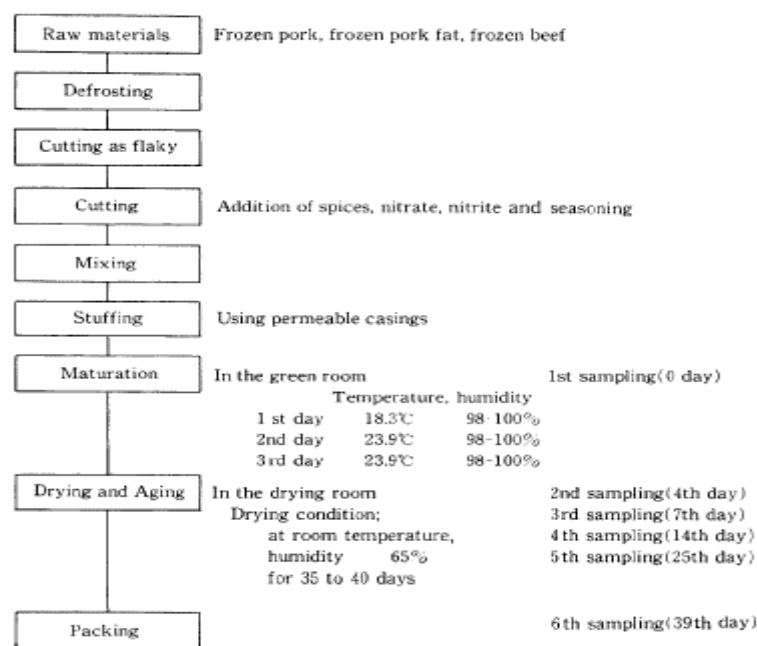


Fig. 4-41 Production method for mold-fermented salami sausage. ⁽⁶⁾

(6) カビ発酵サラミソーセージの熟成風味発現に関する基礎的研究，中村豊郎，沼田正寛橋本小由利(伊藤ハム 中研)，日畜会報，Vol.56 No.12 Page.938-946(1985)

4.9.2L-グルタミン酸再度定量実験②

定量実験①では試料からの抽出がうまくいかなかったためか定量値がマイナスになってしまった．そこで，抽出方法に着目し，サラミソーセージのように脂の多い試料を定量する場合，抽出方法はどのようになっているか文献を参考に検討・変更し，再度定量実験を行った．

【試料の調製方法】⁽⁷⁾

サラミ試料を細断して，試料の 5 倍量の精製水を加えホモジナイズを行った．その後，ぬるま湯中で 15 分間加熱し，冷蔵庫で 15 分放冷し，遠心分離 (4℃，3000 rpm，15 分) を行い⁽⁷⁾，上清をろ過し，抽出されたものを検体試料液とした．また，キット内に付属されている発色試薬，L-グルタミン標準液を用いて標準液，発色試薬盲検，検体盲検を調製した．各試験管をよく振って反応を開始し，常温で 20 分間放置後，精製水を対照として，600 nm の吸光度を測定し，式 Eq(1)により L-グルタミン酸濃度を算出した．

《変更点》

- ・ホモジナイズ時の精製水による希釈 10 倍量 ⇒ 5 倍量（今回）
- ・ホモジナイズ後、ろ過 ⇒ ホモジナイズ後、ぬるま湯で加熱，冷却，遠心分離，ろ過（今回）

【結果】

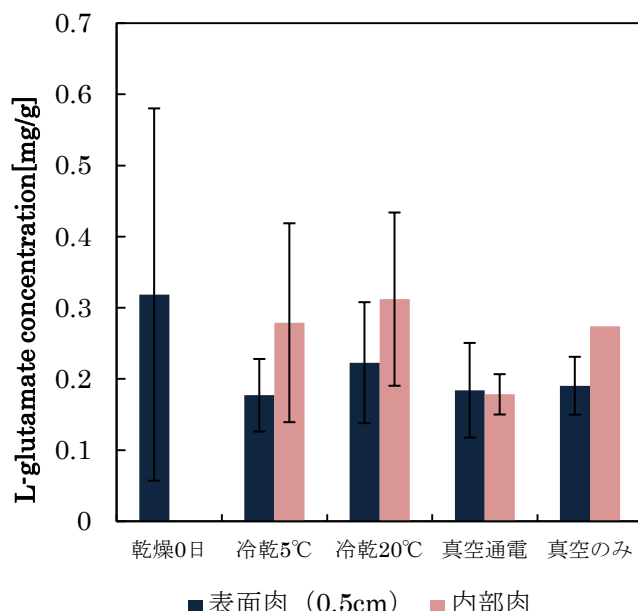


Fig. 4-42 L-glutamate concentration result
【After】 (n=6)

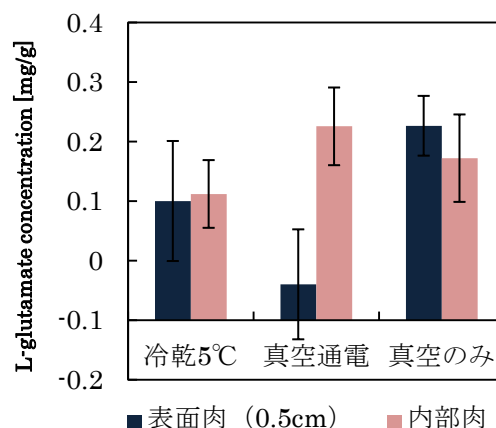


Fig. 4-39 L-glutamate concentration result
【Before】 (n=3)

【考察】

抽出方法を変更した結果，Fig. 4-42 のような結果が得られた．Fig. 4-39 のようなマイナスの値になることなく，定量することが出来た．また，真空通電サンプルを除いて，一般的言われている「試料内部の方が表面部よりもグルタミン酸生成量が多い」^⑥という結果も満たしているため，抽出がうまく出来た結果が得られたと考えられる．

Fig. 4-42 は全体的にエラーバーが大きい，どのサンプルにおいても大きな違いは無いという結果が得られた．t 検定からも有意差が見られない結果となった．また，本研究で調製している試料はスモークハウス工程において中心温度 70℃付近まで上昇しているためグルタミン酸を生成する酵素が失活し，グルタミン酸がほぼ生成されていないという推測と一致する．乾燥 0 日（ケーシング充填肉）の定量値と他の試料とを比較して，乾燥後のものとあまり変わらなかったことからそのような考えられる．また，文献の Fig. 4-40 での乾燥 0 日の試料からはグルタミン酸が 0.5[mg/g]程度定量され，自分が定量した乾燥 0 日の結果と似た傾向を示している，今回の抽出方法を変えた定量実験は妥当な結果だったのでないと思われる．

本研究のような一度高温まで加熱殺菌して試料を調製する場合は，うま味をアミノ酸等で添加させる必要があると考えられる．実際に，花木工業㈱の方の話を聞いたところ，加熱工程を経て製造した市販サラミにはアミノ酸を添加しているという話だったので，このことから今回の定量実験で使ったような加熱工程のあるサラミ試料肉ではグルタミン酸はあまり生成されないという結果は妥当ではないかと考えられる．

また、以下 Fig. 4-38 に市販製品（なとり製 「一度は食べていただきたいおいしいサラミ」）のグルタミン酸定量を行った結果を示す。市販製品のサンプルで同様に L-グルタミン酸定量ができたが、Fig. 4-44 より、原材料に調味料（アミノ酸等）と記載されており、うま味を人工的に添加していることから、大きな値が定量された考えられる。

また、市販品サラミは、含水率・水分活性値を測定した結果、表面部（23%,0.848）・中心部（25 %,0.846）となっており、部位での差がほとんどなく、かなり緻密に製造されているものということが分かった。）価格は約 300 円（スライス約 20 枚入り）であった。



Fig. 4-43 使用サンプル袋

称	サラミソーセージ(スライス)
原材料名	豚肉、豚脂肪、食塩、粉末水飴、結着材料(粗ゼラチン、乳たん白)、香辛料、たん白加水分解物、酵母エキス、ソルビトール、調味料(アミノ酸等)、リン酸塩(Na)、発色剤(亜硝酸Na)、(原材料の一部に大豆を含む)
内 容 量	46g(23g×2袋)
賞 味 期 限	この面の左側に記載
保 存 方 法	直射日光、高温多湿を避け、常温で保存してください。
販売者	株式会社なとり 東京都北区王子5-5-1 製造所固有記号は賞味期限の後に記載 本品製造工程では、小麦、卵を含む製品を生産しています。

Fig. 4-44 使用サンプル袋の裏面（市販品）

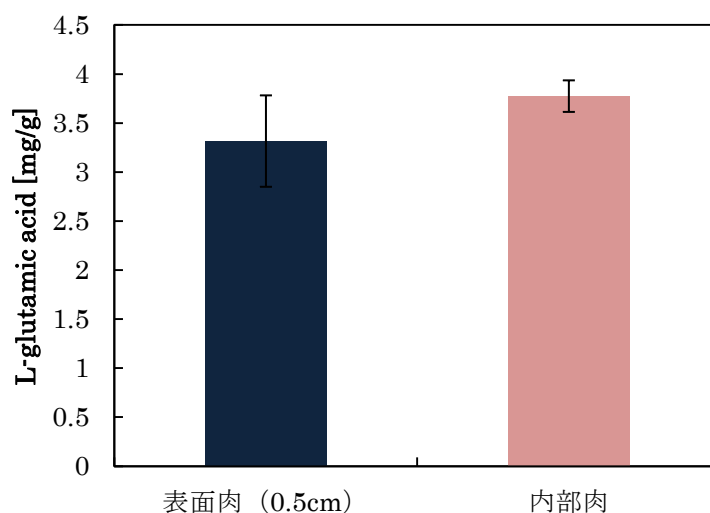


Fig. 4-45 市販製品におけるグルタミン酸定量結果 (n=6)

4.10 粗脂肪定量

【目的】

本研究ではサラミ製造を短縮出来る新しい乾燥法を確立するべく、標準製法（冷蔵乾燥）サラミと新製法（真空通電乾燥）サラミの比較を色彩値測定やL-グルタミン酸定量などについて行ってきたが、真空通電サラミではスライスした時、見た目から判断できるほど油のツヤがほとんど無く、空隙が多い試料であった。そこで、各サンプルにおいて脂肪量の差が生じているのか検証するため、試料中の粗脂肪定量を行った。

【方法】

粗脂肪定量方法は以下 Fig. 4-46 の Bligh and Dyer 法を用いて行った。定量の方法・操作について以下に簡潔に記載する。また、標準製品（冷蔵乾燥 5℃・冷蔵乾燥 20℃）・新製法品（真空通電乾燥）の 3 サンプルについて定量を行った。

- ① ビーカーにサンプル名を記入し、細かく切断した試料重量が約 10 g になるように電子天秤で計る。電子天秤により下 4 桁まで計測した。
- ② メタノールを約 5 ml 入れ、ホモジナイザーで潰す。細かく砕けてきたら混液（クロロホルム：メタノール＝2：1）で機械の先とピンセットを洗い流しながら少量ずつ入れ、ホモジナイズし、混液を最終的に約 20 ml 加えて、試料から脂が滲み出たようにする。
- ③ ロートを分液ロートに挿し、ろ紙をセットして、そこにホモジナイズした試料と液を入れ、全て流れた後、水を約 300 ml 入れ、分液ロートをよく振り、分離させる。【ここまで 1 日目】
- ④ 次の日、分離した下層部分を三角フラスコに流す。その後、分液ロートの残りの液にクロロホルムをピペットで約 20 ml 入れ、よく振り、もう一度分離させ、再び下層部分を三角フラスコに流し入れる。
- ⑤ その三角フラスコの下面一杯に広がるように硫酸ナトリウムを入れ、三角フラスコ内に窒素ガスを充満させた後、アルミホイルで作った栓をして、冷蔵庫に 1 日放置する。【ここまで 2 日目】
- ⑥ 冷蔵庫から取り出して常温に戻す。ナス型フラスコ（500 ml）＜以下大ナス＞にロート・ろ紙をセットし、常温に戻した三角フラスコの中身を全て大ナスへ移す。移す際に、クロロホルムを用いてフラスコ内を軽く揺すり入れる。ろ過後ろ紙をクロロホルムで洗い流すなどして、移し残しがないようにする
- ⑦ 大ナスをエバポレーターにかけ乾かす。ナスを恒温水槽に浸けすぎずに 35～40℃のお湯で行う。
- ⑧ 小ナスを取り出し、小ナスの初期重量を測定する（下 4 桁）。エバポレーターで蒸発させた後、大ナスに残った液を小ナスに移す。移す際、ろ紙をセットして行う。はじめに大ナスにジクロロメタンを 2 ml 入れ、油を溶かすように大ナスを回し、ピペットで吸い取り小ナスへ移す。このようにしてジクロロメタンを入れ、溶かして、吸い取り、小ナスに移す作業を移し残しが無いように行う。
- ⑨ 小ナスをエバポレーターにかけ、粘性が増してきたら、窒素ガスを吹き付けて水分を飛ばし、

重量減少が止まったところで油が入っている小ナス重量を計り，以下式 Eq(2)を用いて算出し，そこから得られた値がその試料の粗脂肪の値となる。【ここまで 3 日目】

$$\text{粗脂肪(\%)} = \frac{\text{乾燥後重量} - \text{乾燥前重量}}{\text{初期試料重量}} \times 100$$

…式(5)

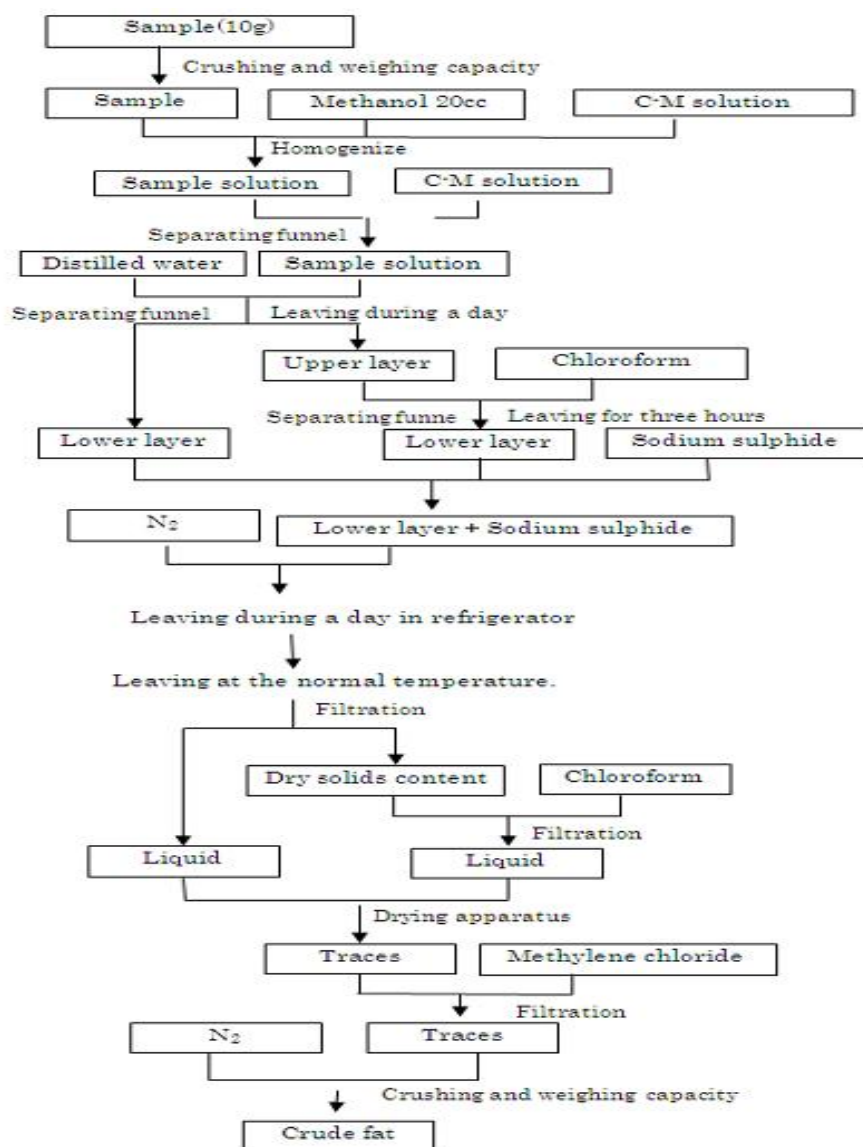


Fig. 4-46 粗脂肪定量方法（Bligh and Dyer 法）

【結果・考察】

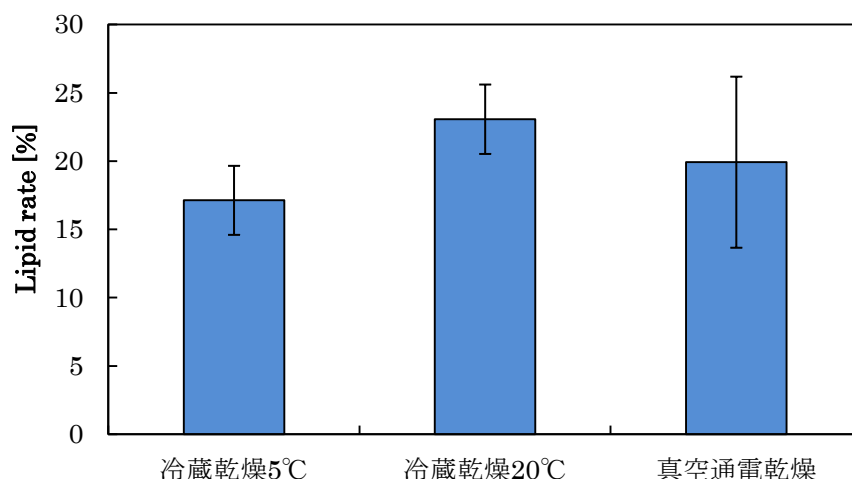


Fig. 4-47 Comparison of the lipid in each sample (n=4)

Bligh and Dyer 法によって定量した結果, Fig. 4-47 のような結果となった. $n=2$ の実験を 2 回行い, $n=4$ とした. 新製法の誤差は少し大きく出たが, 3 試料ともに抽出がしっかり出来たのではないかと考えられる. どの試料においても大きな差は見られなかった. t 検定からも有意差は見られなかった. 標準製品の冷蔵乾燥 5℃と 20℃の乾燥温度帯の違いから粗脂肪量に差が生じたのは使用した原材料肉の個体差とも考えられるが, 冷蔵乾燥 5℃では約 30 日乾燥に必要としているのに対して, 20℃では約 20 日で終了するため, この乾燥期間の違い, 又は湿度の違いが脂質の酸化や化学変化などに影響を及ぼし, 5℃の試料では低い値となったのではないかと考えられる. 脂肪を含む乾燥食品は, 低湿度で自然酸化によって変質すると言われている.⁽⁸⁾

また, 新製法品 (真空通電乾燥) についてはエラーバーが大きくなってしまったが, 新製法品は標準製品に比べて粗脂肪量が少ない値になる傾向が見られた. これは真空乾燥のために試料が接触面積のきわめて大きい多孔質状の酸化しやすい状態となり⁽⁸⁾, 脂質酸化が起こり, 脂肪自体の状態が変化したか, もしくは通電加熱時に局所的に高温となった箇所から溶け出たのではないかと考えられる.

脂質含量が多い乾燥食肉製品では, 自動酸化による品質劣化が一番問題となっていることから, もこれが主な要因ではないかと思われる.⁽⁹⁾

4.11 表面観察

4.11.1 標準製法試料と新製法との写真比較

標準製法（冷蔵乾燥 5℃）で製造したサラミの断面写真を Fig. 4-48, Fig. 4-49 に示す。①, ② は同じ製法でつくった試料である。これと同様に、標準製法（冷蔵乾燥 20℃）で製造したサラミの断面写真を Fig. 4-50, Fig. 4-51 に、新製法（真空通電乾燥）により製造したサラミの断面写真を Fig. 4-52, Fig. 4-53 に示す。

標準製法、新製法それぞれを比較すると、新製法の方は全体的に淡い、薄い色をしているように見られる。しかし、赤身肉の色の淡さや薄さを除けば、見た目や形はほとんど同様である。

断面肉の赤身色に違いは、色彩値結果から L^* 値や b^* 値の違いからも推測することが出来るが、これは、酸化反応や長時間乾燥させることによる発酵などが色に影響起こしたからではないかとも考えられる。新製法では脂身の部分がしっかりと固まって残っており、主な違いは色の薄さだけと考えられる。

写真からも分かるように新製法の方では、小さな隙間から大きな隙間が標準製法よりも多く見られる。そこで、その隙間（以下空隙とする）の大きさや断面に存在する面積割合などどの程度の値となっており、それは標準製品と比べて同等なものか、違いがあるのか、違いはどの程度あるのか、検証するため、デジタルマイクロスコープ(KEYENCE 製)により試料断面の表面観察を行うこととした。



Fig. 4-48 標準製法（冷蔵乾燥 5℃）・断面肉①



Fig. 4-49 標準製法（冷蔵乾燥 5℃）断面肉②



Fig. 4-50 標準製法（冷蔵乾燥 20℃）・断面肉①



Fig. 4-51 標準製法（冷蔵乾燥 20℃）断面肉②



Fig. 4-52 新製法・断面肉①



Fig. 4-53 新製法・断面肉②

4.11.2 マイクロ스코ープによる表面観察

それぞれの方法で製造した標準製品・新製法品を超深度デジタル実体マイクロ스코ープ(KEYENCE(株))を用いて、試料の表面観察を行った。装置の外観を以下 Fig. 4-54 に示す。



Fig. 4-54 デジタルマイクロ스코ープ(VHX-1000)及びフリーアングル観察システム(VHX-S50)

まず、空隙の大きさを各試料によって比較するため空隙の深さ（最大高低差）を測定し、比較した。

【空隙深さ・方法】

標準製法（冷蔵乾燥 5℃・20℃）試料・新製法（真空通電乾燥）試料それぞれにおいて、試料を厚み 15mm に切断したものを用意し、デジタルマイクロ스코ープ(KEYENCE 製)の「深度 UP」というモードを使用して、試料に存在する空隙（穴）の深さを測定した。測定数は冷蔵乾燥 5℃・20℃、真空通電乾燥それぞれの試料に対して 3 つ同様の試料を調製し、1 つに対して $n=5$ ずつ測定した ($n=5 \times 3$ sample)。

Fig. 4-55 のように、穴の最大高低差（黄色の矢印）をデジタルマイクロ스코ープを用いて測定し、各試料において $n=5 \times 3$ sample の平均した値を空隙深さとした。結果を Fig. 4-56 に示す。

Fig. 4-56 より、標準製品と新製法品とで差があることが分かった。どの試料においてもエラーバーが大きいですが、標準製品と新製法品とでは実際に約 2 倍差があることが分かった。 t 検定からも有意差があるという結果が得られた。このことから目視でも違いが確認出来るほどだということが考えられる。5℃と 20℃では t 検定による有意差は見られなかった。

また、標準製品と新製法品の空隙の形を比較した結果、Fig. 4-57, Fig. 4-58 のように空隙の形に違いが見られた。全ての空隙がこのような形になっている訳ではないが、同様な傾向にあることが見られた。標準製品の試料の空隙は Fig. 4-57 のように丸みを帯び、綺麗にくり抜かれたような形をしている。空隙の大きさは小さく、深さも小さい。それに対して、新製法品の試料の空隙は Fig. 4-58 のように無理やりくり抜かれたような複雑な形をしているものが多いという結果となった。空隙の大きさはとても大きく、深さも大きい。これは真空乾燥特有の急速な乾燥が故に生じたものではないかと考えられる。

次に、その空隙は 1 試料の断面に対してどの程度存在するのか各試料において比較するため、

断面上の空隙の断面積を計測し、空隙の面積割合を算出した。

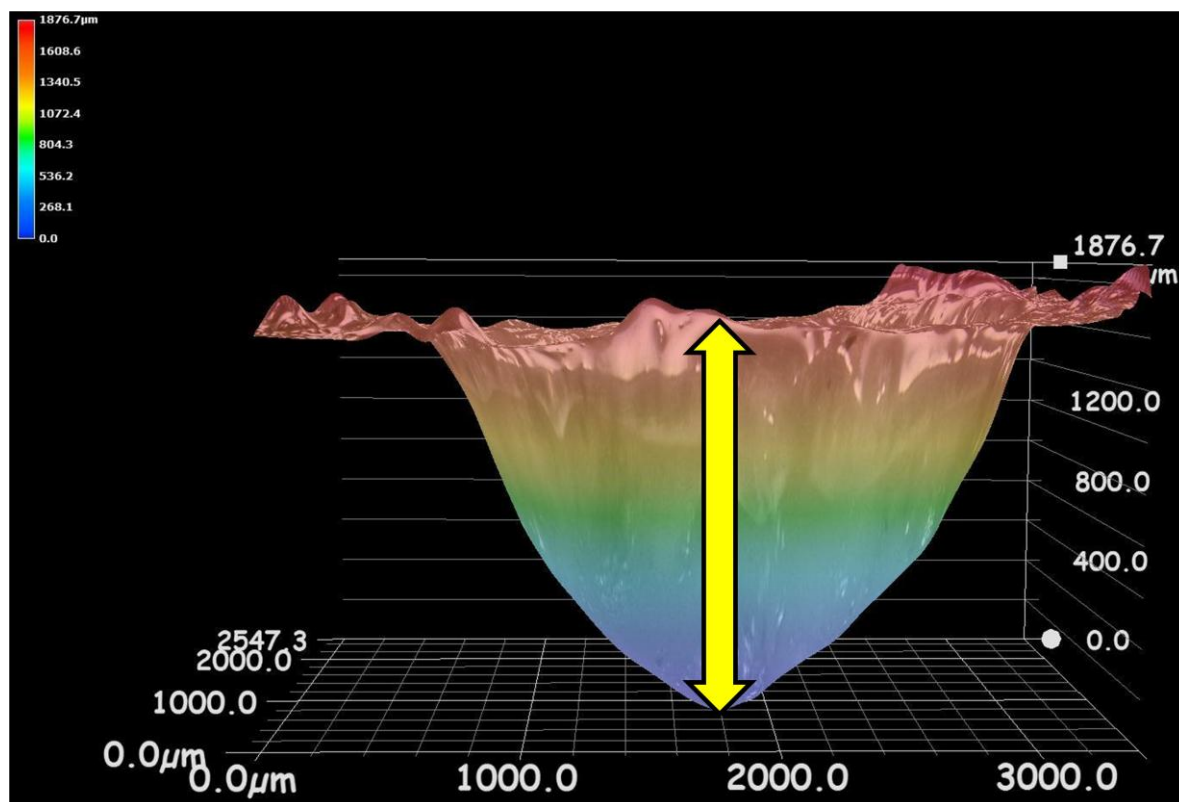


Fig. 4-55 空隙例

【結果】

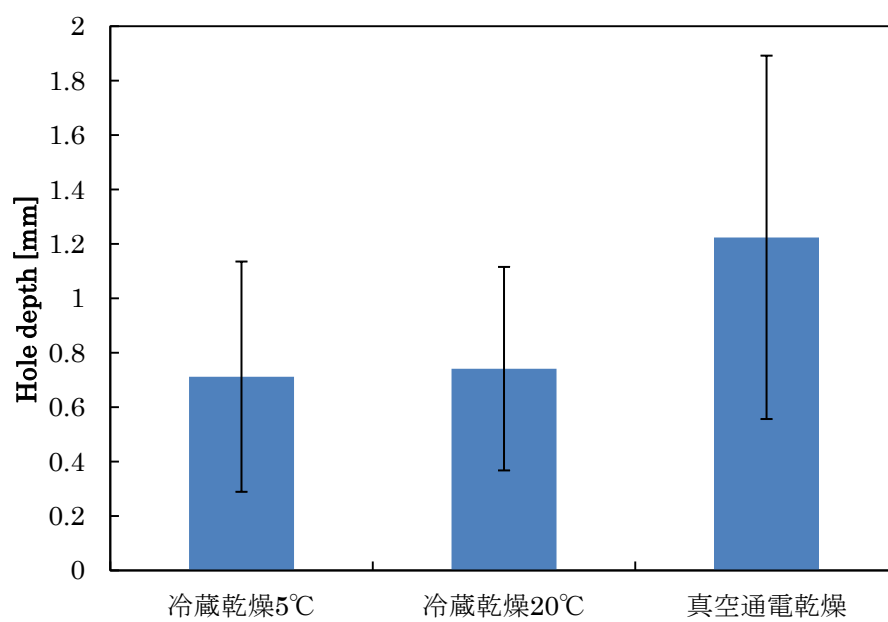


Fig. 4-56 各試料における空隙深さ[mm]測定結果 (n=5×3)

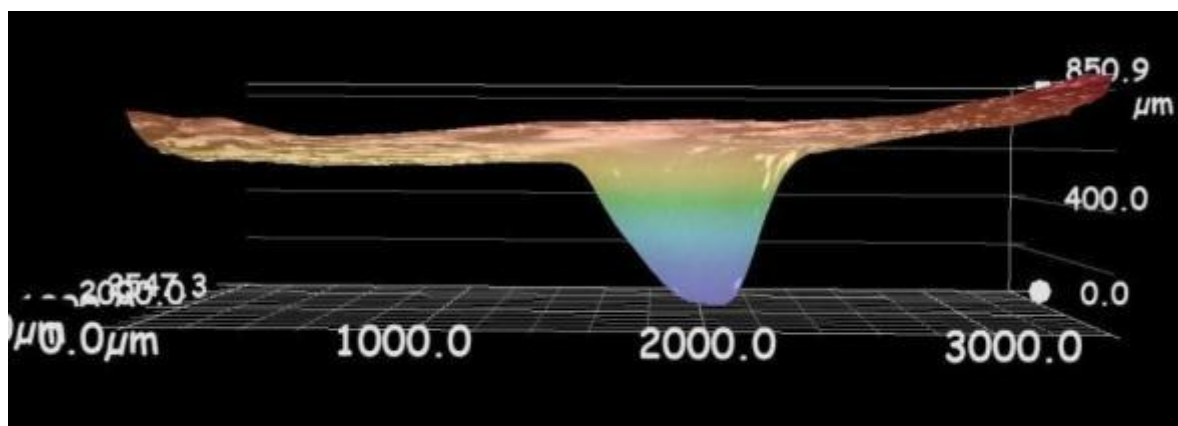


Fig. 4-57 標準製品に多い空隙の形

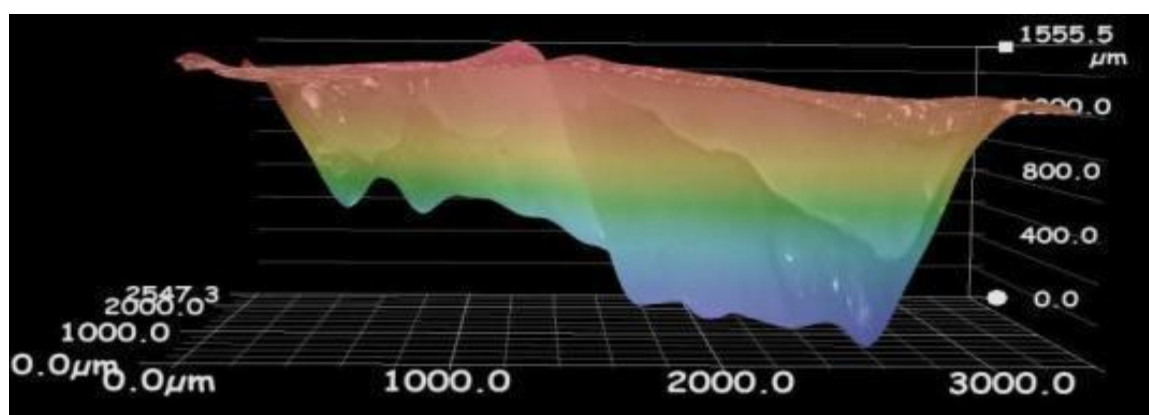


Fig. 4-58 新製法品に多い空隙

【空隙の面積割合・方法】

空隙深さの測定と同様に，標準製法（冷蔵乾燥 5℃・20℃）試料・新製法（真空通電乾燥）試料それぞれにおいて，試料を厚み 15 mm に切断したものを用意し，デジタルマイクロスコープ（KEYENCE 製）の「画像連結」というモードを使用して，1 試料の断面写真を約 100 枚撮影することによって作成し，その断面写真における空隙断面積を計測によって測定し，試料全体の断面積における空隙の面積割合を算出した．(n=3)また，空隙サイズが目視で分かる大きさ 2 mm² 以上のものの試料断面面積割合についても算出した．

$$\text{空隙の面積割合(\%)} = \frac{\text{試料断面に存在する空隙の断面積}[\mu\text{ m}^2]}{\text{測定試料全体の断面積}[\mu\text{ m}^2]} \times 100 \quad \cdots \text{式(6)}$$

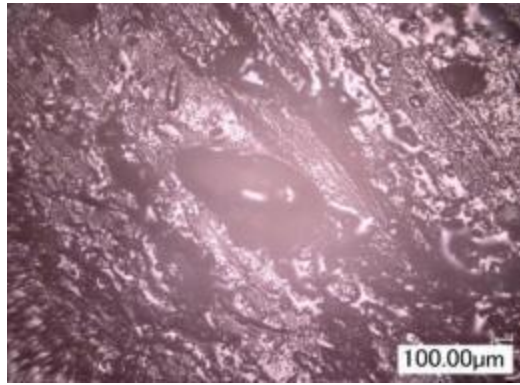
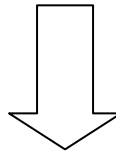
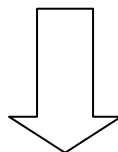
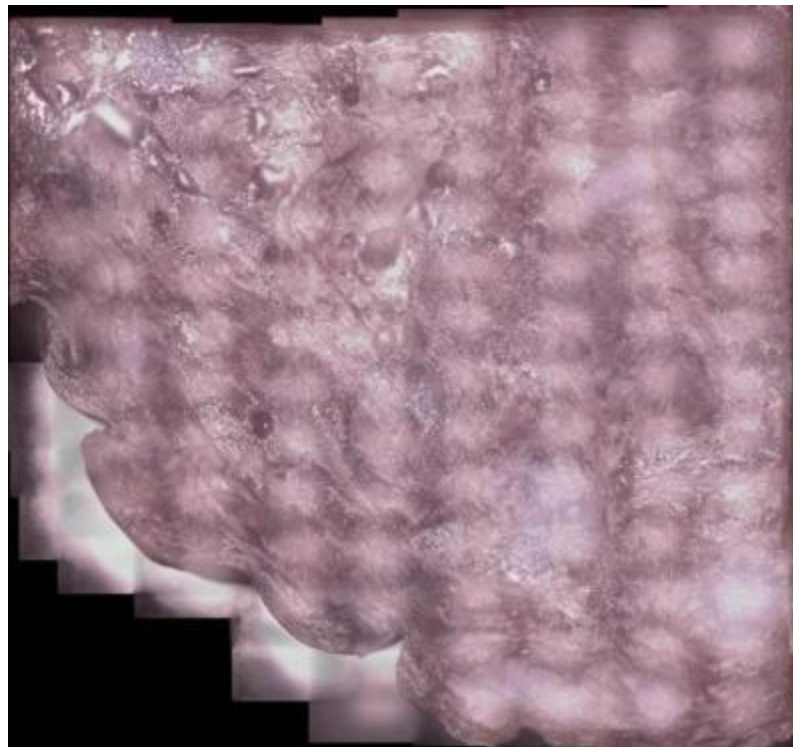


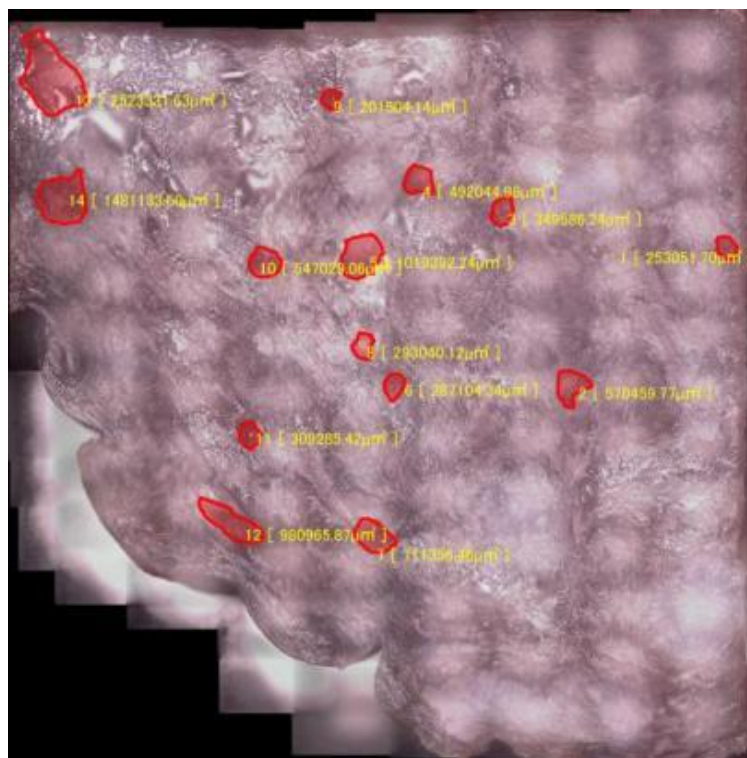
Fig. 4-59 新製法品に多い空隙



この画像を約 100 枚連結させて 1 試料全体を撮影する。



この画像の空隙部分の断面積を測定する。全体の断面積から面積割合を算出する。



【結果】

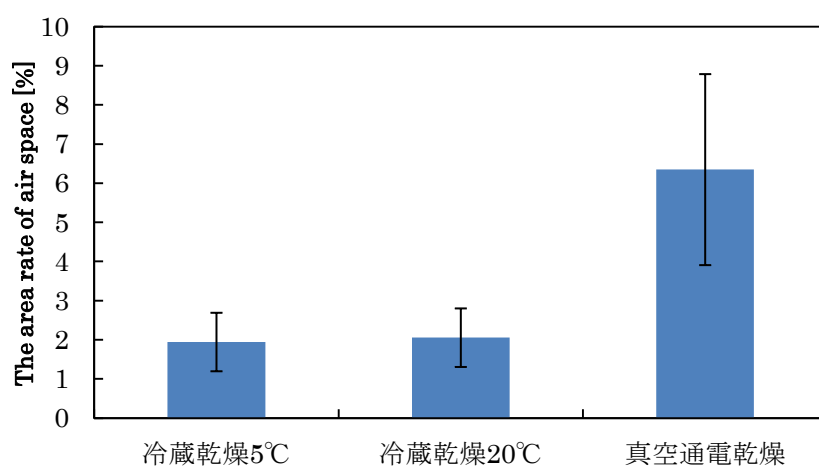


Fig. 4-60 各試料における空隙の面積割合[%] 測定結果 (n=3)

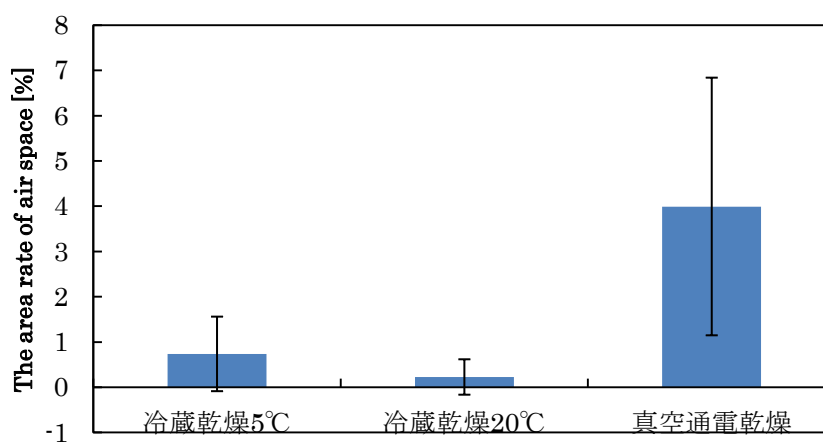


Fig. 4-61 各試料における空隙の面積割合[%] 測定結果【空隙の断面積 2 mm²以上に着目】 (n=3)

Fig. 4-60 より，1 試料の断面における空隙の面積割合は，新製法では試料断面に約 7%の空隙があり，標準製品と新製法品とで約 3 倍量の差があることが分かった．*t* 検定からも有意差がみられた．5℃と 20℃の *t* 検定では有意差が見られない結果となった．また，新製法の試料はエラーバーが大きいことから空隙が多かったり，少なかったりと試料によって空隙の生成にムラがあることが分かった．

また，面積割合の算出を空隙が目視でも穴が開いていると分かる大きさ断面積 2 mm²以上のものに着目して，比較した結果 Fig. 4-61 のようになった．新製法における大きな空隙に着目すると試料断面の空隙の面積割合は約 4%に減少した．標準法のものは 5℃，20℃ともに約 1%かそれ以下であった．このように大きなサイズの空隙に限定すれば，標準製品と大きな差はないことが分かった．*t* 検定においても 3 試料の有意差は見られないという結果が得られた．

またここで，この空隙を生む要因は何なのか，脂身と赤身肉の収縮速度の違いによるもの，脂身が真空乾燥されることによりその部分から隙間・空隙が生じてしまうことなどが考えられたため，生肉の脂身だけを真空乾燥にかけた場合，どのような現象が起きるか実験し，検討した．

4.11.3 豚肉・脂身真空乾燥実験

新製法品（真空通電乾燥）に多く生じる空隙は脂身の脂肪が真空乾燥によって部分的に蒸発しているためのものなのか，真空乾燥によって生の豚肉脂身は蒸発・減少するのか，明らかにするため，乾燥実験を行い検証した．サラミ製造に使用している原材料（生肉）の豚肩ロース肉と豚もも肉から脂身を取り分け，キムワイプで水気をよくふき取り，ビーカーに約 5 g 計量し，真空乾燥を約 3 日間行った．その結果を以下 Fig. 4-62 と Fig. 4-63 に示す．

各脂身を真空乾燥にかけた結果，2 つの脂身とも約 25%減少したことが分かった．これより，脂身は約 25%以上水分を保持しており，その水分がスモークハウス工程で蒸発しなかった分，真空通電工程において蒸発するため，真空状態で脂身が保持している水分が蒸発した箇所に空隙が生じると考えられる．よって，空隙は脂質が蒸発して出来ているのではなく，脂身が元々持っている水分が蒸発するためだと思われる．また，赤身肉と脂身の収縮速度の違いや赤身肉と脂身との結着性の悪さが空隙を生んでいるということも考えられる．なので，サラミソーセージを真空通電乾燥によって製造する場合は原材料肉をなるべく荒挽きにするなどして，脂身部分をなるべく小さな状態にすると空隙は少なくなると思われる．または，市販品において使用されている結着材料（粗ゼラチン，乳たん白）を添加するという手もあることが考えられる．

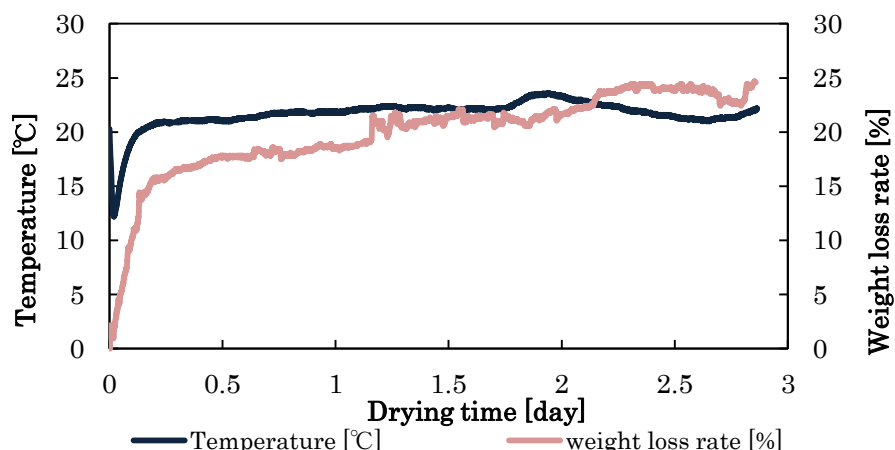


Fig. 4-62 Temperature history & weight loss rate change (Sample:豚肩ロース肉)

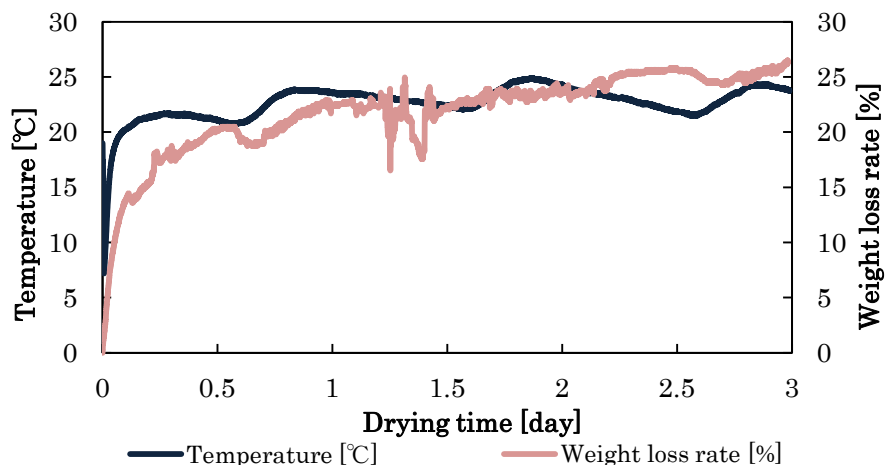


Fig. 4-63 Temperature history & weight loss rate change (Sample:豚もも肉)

4.12 官能評価

4.12.1 官能評価結果

標準製法（冷蔵乾燥 5℃）と新製法（真空通電乾燥）でそれぞれ製造したサラミ試料は実際に人が食べたとき、同等とを感じるものか、異なると感じるものか比較するべく、表点法を用いて、以下の項目について官能評価を行った。(10),(11)

見た目（光沢感・赤色（赤身肉の色）・白色（脂身の色）・全体的な色合い）、味（塩味・うま味・スパイス感・全体的な味の好み）、におい（においの強さ・発酵臭）それぞれについて、標準製法品の評価を 0 としてもらい、それに対して新製法品の方が好ましい場合は「+1, +2」の評価を、好ましくない場合は「-1, -2」の評価を、同等な場合は「0」の評価をして頂くという 5 段階評価尺度（+2～-2）を用いて行った。

また、今回は 20 代前半の 7 人（男：4 人，女：3 人）に対して官能評価を実施した。

評価してもらった段階評価の平均値を算出し、以下のように表示することとした。標準製法品を 0 とし、それに対して、新製法品の平均評点が +1.5～+0.5 は◎（すごく好む）、+0.5～-0.5 は○（同等）、-0.5～-1.5 は△（やや好まない）、-1.5～-2.0 は×（好まない）とした。

結果を Table 4-1 に示す。光沢感に関しては、新製法品は標準製法品と比較して、好まれないという結果が得られた。これは真空乾燥と通電加熱の効果により、乾燥が急速に起こり、脂身部分に含まれる水分が蒸発したか、酸化反応により脂質の状態が変化し、切断時に光沢感が表面に浮き出てなくなってしまったからだとかと考えられる。

また、色に関しても、新製法品は標準製法品と比較して、好まれないという結果が得られた。これは色彩の結果、写真の比較からも考えられるように色（特に赤色）が薄いからだと考えられる。

味やにおいなどの他の項目については、新製法品は標準製法品と同等又はやや好まない程度の評価となり、見た目を除けば、標準製法サラミと大きな違いの無い試料ということが言える。

Table 4-1 官能評価結果

	光沢感	赤色(赤身肉の色)	白色(脂身の色)	全体的な色合い	塩味
新製法	× (-1.714)	× (-1.571)	○ (-0.429)	× (-1.857)	△ (-0.714)
	うま味	スパイス感	全体的な味の好み	においの強さ	発酵臭
新製法	△ (-0.571)	○ (-0.286)	△ (-0.714)	○ (-0.143)	○ (-0.286)

4.12.2 硬さ，噛みごたえ比較

上記の官能評価方法を用いて，食感（硬さ・噛みごたえ）に対しても同様に実施し，硬さ，噛みごたえ，それぞれに関して，平均値を算出し，比較を行なった．新製法品は標準製法品と比較し，硬さ，噛みごたえに違いがあるか，同等かを検討し，比較して硬い場合，噛みごたえがある場合は「+1，+2」の評価を，柔らかい場合，噛みごたえが無い場合は「-1，-2」の評価を，同等な場合は「0」の評価をして頂くという 5 段階評価尺度（+2～-2）を用いて行った．また，硬さ，噛みごたえは以下のように定義した．⁽¹²⁾

- ・硬さ：サラミのサンプルを上下の臼歯間にかみ切るのに要する力
- ・噛みごたえ：飲み込むまでサラミを噛み砕くために必要な労力

上記の Table 4-1 の官能評価と同様に，評価してもらった段階評価の平均値を算出し，「○，△，×」で表示することとした．

Table 4-2 より，硬さに関しては，新製法品は標準製法品と比較して，同等という結果が得られた．また，噛みごたえに関しても同様に，新製法品は標準製法品と比較して同等という結果が得られた．よって，Table4-1 と Table4-2 の結果から，新製法品は，標準製法品と比べて，色（赤色），見た目を除き，味・食感は同等であるということが言える．

官能評価ではこのような結果となったが，測定器を用いた一定の条件のもとの硬さの品質データを取得するため，レオメーター(YAMADEN 製、RE-3305S)【Fig. 4-63】を用いた硬度測定実験を行った．

Table 4-2 硬さ・噛みごたえ比較結果

	硬さ	噛みごたえ
標準製品	○ (標準品を 1 とする)	○ (標準品を 1 とする)
新製品	○ (標準と比べて-0.286)	○ (標準と比べて+0.286)

4.12.3 レオメーターを用いた硬度測定

【方法】⁽¹³⁾

標準製法（冷蔵乾燥 5℃・20℃）・新製法（真空通電乾燥）の各試料の中心部分・端部（電極付近）【Fig. 4-65】を厚さ 15 mm に切断し，Fig. 4-64 のレオメーター（楸山電）【RE-3305S RHEONER】を用いて，硬度測定を行った．

直径 15 mm の円形プランジャーを 1 mm/sec の速度で進入させたときの硬度 $H(\text{dyne/cm}^2)$ を求めた．進入距離は 0.75 mm とした．また，硬度 $[\text{dyne/cm}^2]$ は以下の式により算出した．

※レオメーターから得られた測定値に 10 を掛けることで単位は $[\text{N}]$ となる．

$$\text{硬度 Hardness}[\text{dyne/cm}^2] = \frac{\text{測定値} \times 10[\text{単位変換}] \times 10^5[\text{dyne}]}{\text{試料表面積}[\text{cm}^2]} \dots \text{式(7)}$$

【結果】

結果を Fig. 4-66 に示す．試料を厳密に平衡に切断することが難しかったため，少しエラーバーが大きくなってしまったが，どの試料においても端部より中心部の方が柔らかいという結果が得られた．これより，含水率・水分活性値の測定結果と合わせて，中心部の方が水分を多く含むため柔らかくなり，妥当性のある結果と思われる．

標準製品と新製法品とを比較すると，新製法品は標準製品よりも約半分の硬さという結果が得られた． t 検定からも中心部，端部ともに有意差があるという結果が得られた．これは新製法における試料では空隙の深さや多さから標準製品よりも少し柔らかいという結果になったと考えられる．

また，標準製品の 2 試料に着目すると 5℃・20℃ともに中心部と端部で硬度測定結果に差が出てしまい，市販品を想定するならば，どの部位も同様な値となることが理想だが，そのためには湿度の設定も今後は視野に入れなければならないと考えられる．しかし，5℃と 20℃で t 検定を行った結果では中心部，端部ともに有意差は無いという結果が得られたため，大きな差では無いことが言える．



Fig. 4-64 測定装置：レオメーター

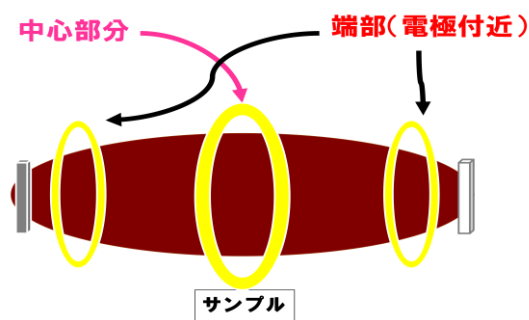


Fig. 4-65 測定部位

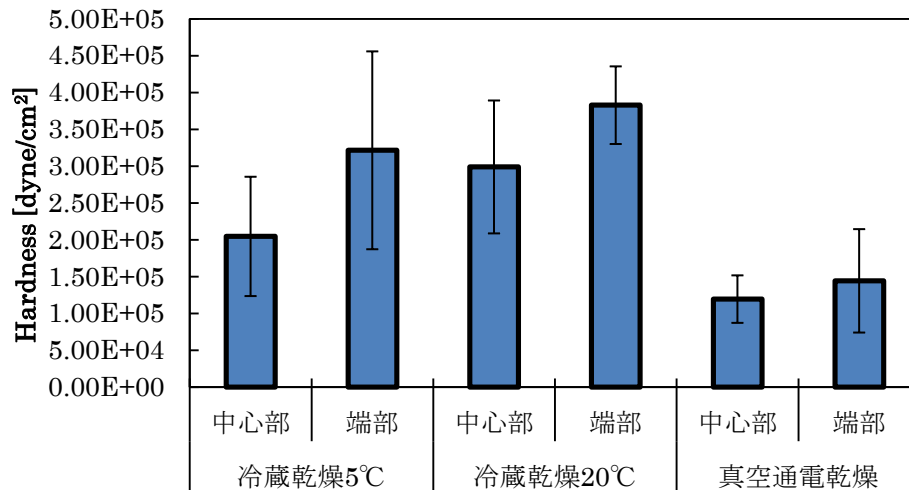


Fig. 4-66 各試料の中心部・端部における硬度測定結果 (n=6)

参考文献

- (1) いろいろな分野で活躍する冷凍・冷却技術, 原田剛臣, 冷凍, Vol.82 No.961 Page.873-876 (2007)
- (2) マイクロ波減圧乾燥法を用いた食品製造技術, 鹿島真樹, 菅野三郎, 食品と技術, No.316 Page.12-15 (1997)
- (3) 食肉加工品の新傾向と今後 技術的視点からの自家製ハム・ソーセージの基礎理論, 佐藤隆 (オンラインワード通商), ジャパンフードサイエンス, Vol.26 No.9 Page.42-48 (1987)
- (4) Oxidation of Controlled Low-temperature Vacuum Dehydrated and Freeze-dried Beef and Pork. (調製低温真空乾燥及び凍結乾燥した牛肉と豚肉の酸化), KING V A-E, CHEN J-F (National Chung-Hsing Univ., Taichung, TWN), Meat Sci, Vol.48 No.1/2 Page.11-19 (1998)
- (5) カビ発酵サラミソーセージの熟成・乾燥期間中における風味関連物質の変化, 沼田正寛・富家崇弘・水谷祥彦・橋本小由利・山田浩之・中村豊郎 (伊藤ハム株式会社中央研究所) (1987)
- (6) カビ発酵サラミソーセージの熟成風味発現に関する基礎的研究, 中村豊郎, 沼田正寛橋本小由利(伊藤ハム 中研), 日畜会報, Vol.56 No.12 Page.938-946(1985)
- (7) 優良肉用鶏選抜試験 鶏肉に含まれる遊離グルタミン酸の簡易測定法, 関澤春仁, 斉藤美緒, 小林雄治, 土屋友充 (福島県農業総合センター畜産研 養鶏分場), 福島県養鶏試験場研究報告, No.33 Page.42-45 (2006)
- (8) 食品加工と食品工学シリーズ (第 11 回) 食品加工における乾燥技術 [1], 林弘通 (東京農大), 食品と容器, Vol.41 No.7 Page.392-397 (2000)
- (9) 乾燥食肉製品中の脂質酸化の測定, 浅川具美 (同志社女大), 調理科学, Vol.19 No.4 Page.301-305 (1986)
- (10) やさしい官能評価, 古川秀子, 日本調理科学会誌, Vol.30 No.2 Page.200-203 (1997)
- (11) 阿波ポークの「特徴あるおいしさ」評価技術の開発, 谷史雄, 新居雅宏, 森直樹, 徳島県立農林水産総合技術センター畜産研究所研究報告, No.2 Page.32-37 (2002)

- (12) 食品ラボにおける官能評価 (3), POSTE L M, MACKIE D A, BUTLER G, LARMOND E,
日本食品科学工学会誌, Vol.48 No.6 Page.453-466 (2001)
- (13) 凍結・乾燥技術を利用した食肉製品の乾燥工程の短縮, 井上吉一, 佐藤亘 (プリマハム), 食
品産業センター技術研究報告, No.10 Page.41-46 (1987)

第5章 総括

真空乾燥技術と通電加熱技術を組み合わせた新しい乾燥方法を用いることで、サラミソーセージの製造期間を約半分に短縮可能とすることが出来た。

また、この手法により製造したサラミソーセージは製品基準である含水率 35%以下、水分活性値 0.87 未満、製造基準である 50℃以上又は 20℃以下での燻煙・乾燥という条件を両者ともに満たすことが出来た。新製法の真空通電乾燥は迅速な乾燥故に乾燥ムラが生じてしまうため、乾燥後、あんじょうを行い、濃度勾配による水分の移動を起こすことで、内部の水分が表面に移動する均質化を促進し、含水率・水分活性値の基準を十分に満たすことが出来た。

真空乾燥において、サラミソーセージのような円筒形の試料で均一乾燥を目的にした場合、加熱様式は通電加熱がよく適したが、その際、試料に付属させる電極が重要となった。予備実験を行い、平板型、棒型、剣山型の 3 つの電極を試した結果、試料と電極の接触面積、密着性が重要ということが分かり、剣山型の電極が長時間の温度制御に有効な結果が得られた。

また、サラミソーセージ製造における乾燥工程は「50℃以上、又は 20℃以下」と定められているが、新しい手法の場合、50℃以上での乾燥は試料中の脂身が溶け出てしまい、断面に多く穴が出来てしまったため、20℃以下での乾燥を用いた。20℃以下の場合でも多少の穴は生じてしまうが、50℃以上での乾燥より軽減することが出来た。

真空乾燥と通電加熱を組み合わせた方法により製造した新製法品と従来の方法である冷蔵乾燥によって製造した標準製品の品質評価を行い、両者を比較した結果、含水率・水分活性値ともに標準製品とある程度同等となり、乾燥ムラを抑えた乾燥を行うことが出来た。色彩については、試料断面において新製法の方が標準製法よりも全体的に L*値・b*値が高くなり、a*値は低くなり、赤味が薄い淡い色ということが分かった。これは真空乾燥により試料が多孔質状になり、肉中の色素たん白質が標準品よりも酸化したのではないかと考えられる。この現象、酸化の度合いに関しては今後の課題とする。収縮については、乾燥時の試料を置く状態と両端の切断有無の違いなどにより長さ方向の収縮に少し違いが生じた。粗脂肪については、大きな違いは無かった。しかし、新製法では少し低い値となる傾向が見られたことや試料表面の光沢感が異なることから、脂肪の状態変化が起こっていると考えられる。この現象に関しては今後の課題とする。また、L=グルタミン酸に関しては、本研究でのサラミ製造は一度加熱殺菌により試料温度が 70℃付近まで上昇するため、生成酵素が失活し、生成されなかったため、差はほとんど無かった。空隙については、乾燥温度を低くすることで、数、大きさを抑えることが出来た。しかし、標準製品と比較するとまだ差があったため、改善の余地はある。大きな空隙に着目して比較を行った結果では、大きな差は見られなかった。また、硬度については、新製法は標準製法と比べると、少し柔らかいという結果が得られたが、空隙や脂肪の状態変化の違いが影響していると考えられる。

よって、品質評価によって水分、収縮、粗脂肪、L-グルタミン酸に関しては、新製法と標準製法とで大きな違いはないという結果が得られた。空隙や硬度などの多少の違いは生じたが、主に色彩の違いを除けば標準製品とほぼ同等のサラミソーセージを短期間で製造することが出来た。

今後の課題としては、この違いを軽減する試料を製造するために、発色剤、結着剤を加え

ての各製法の比較や更なる電極の改善，色素たん白質酸化反応，粗脂肪の酸化・変質の現象把握などが必要と考えられる．

特に乾燥時に乾燥ムラができること（特に通電加熱の出力が高いとき），生産性が低いこと等が重要な改善点である．今後，これらの機器的な欠点を補うことにより，さらに真空通電乾燥の利用分野，方法が広がると考えられる．

謝辞

本研究は、東京海洋大学 食品品質設計学講座 食品熱操作工学研究室において 2010 年 4 月より 2012 年 3 月にわたり行ったものです。その間、常に甚大なるご協力と親切的な指導を賜りました。東京海洋大学 酒井昇教授、福岡美香准教授に厚く御礼申し上げます。

本研究の遂行に当たっては、

- ・花木工業株式会社 代表取締役 海内栄一氏
 - ・花木工業株式会社 加工機械部 取締役部長 海内洋氏
 - ・花木工業株式会社 加工機械部 課長代理 曾川正典氏
- の 3 名に大きなご支援を頂戴いたしました。深く感謝申し上げます。

また、同期の上口祐未さん、松田洋紀さん、矢部晋太郎さんに多大なるご支援を頂き、感謝申し上げます。

最後に、ここでお名前を挙げるができなかった方へお詫びすると共に、私を支えて下さった皆様に改めて感謝の意を表し、今後とも相変わりがせぬ御指導、御鞭撻の程、お願い申し上げます。